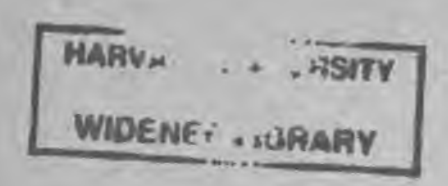

HDI
HW 1G87 4
BIOL
1424
P47p

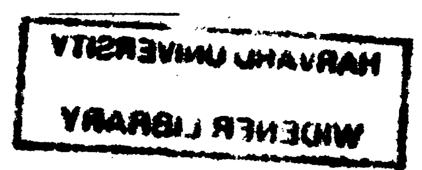

HARV... ...RSITY
WIDENE... ...BRARY

PHYSIOLOGISCHE

UNTERSUCHUNGEN

VON

Wilhelm
DR. W. PFEFFER,
PRIVATDOCENT IN MARBURG.



Inhalt:

1) Untersuchungen über Reizbarkeit der Pflanzen.
2) Untersuchungen über Oeffnen und Schliessen der Blüthen.

Mit einer lithographirten Tafel.

LEIPZIG,
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.
1873.

SEINEN HOCHVEREHRTEN LEHRERN

HERRN

PROFESSOR DR. N. PRINGSHEIM

UND

HERRN

HOFRATH DR. J. SACHS

IN DANKBARKEIT

GEWIDMET

VOM VERFASSER.

wegende Kraft, die von Desfontaines, Treviranus und anderen theilweise noch zu nennenden Forschern dem Parenchym zugetheilt wurde. A. v. Humboldt[1]) erhoffte die Entdeckuug von Muskelfibren in den reizbaren Geweben von der Zukunft und vor noch nicht sehr langer Zeit behauptete unbegreiflicherweise Leclerc[2]), dass die Bewegungsorgane reizbarer Pflanzen aus unter sich parallelen Fasern beständen, welche den zweierlei Arten thierischer Muskeln, den dem Willen unterworfenen und willkürlichen entsprechen sollten. In noch jüngerer Zeit versuchte Cohn[3]) die sich contrahirenden Zellen in den Staubfäden der Cynareen den glatten Muskeln zu vergleichen.

Indess begegnen wir auch schon im vorigen Jahrhundert in Covolo[4]) einem Forscher, der in seiner meisterhaften Arbeit über die reizbaren Staubfäden der Cynareen, diese Filamente thierischen Muskeln nicht verglichen haben will. Zu einer rein mechanischen Erklärung der Bewegungsursache griffen, wenn auch ohne eigentlichen Grund, Parent[5]) und ebenso Lamark[6]). Nach der Ansicht dieser soll sich nämlich bei Ruhe in den Zellen der Bewegungsorgane der Sinnpflanze eine Gasart ansammeln, welche auf einen Anstoss plötzlich entweiche und so mit dem Zusammenfallen der Zellen die Ursache der bekannten auf Reiz erfolgenden Bewegung von Blattstielen und Blättchen werde.

Die gegebene Skizze soll nur die hauptsächlichsten älteren Anschauungen hervorheben, auf die näher einzugehen zur Zeit nicht mehr nöthig ist. Bis auf Brücke (1848) verwechselten alle Forscher die Reizbewegungen mit den periodischen Bewegungen und übertrugen somit auch die für diese gewonnenen Vorstellungen auf jene. In solcher Weise wurde auch eine zunächst für periodisch bewegliche Pflanzenorgane aufgestellte Ansicht, dass die, sei es nun durch Beleuchtung oder Verfinsterung hervorgerufene Verfeinerung der Säfte ursächliche Bedingung der Bewegung sei auf die reizbaren Pflanzenorgane mehrfach angewandt.

Diejenigen Untersuchungen, welche wirkliche Fortschritte in

---

1) Aphorismen aus d. chem. Physiol. Deutsch von Fischer 1794, p. 41.

2) Comptes rendus 1855, T. 40, p. 1224.

3) Zeitschrift f. wiss. Zoologie 1863, Bd. XII, p. 366 ff.

4) G. conte dal Covolo, Discorso della irritabilita d'alcuni fiori nuovamente scoperta Firenze 1764. Deutsche Uebersetzung in der Zeitschrift »der Naturforscher« Halle 1775, 6. Stück, p. 216–237.

5) Mémoir. de l'Acad. royale de Paris 1709.

6) Encyclop. méthod.; Botanique, 1783. Vol. I, p. 17.

der Erkenntniss der Vorgänge bei der Reizbewegung herbeiführten, wurden vorzüglich mit Mimosa pudica, ausserdem auch mit den Staubfäden der Cynareen angestellt. Diese beiden Objecte sind es auch, welche ich für meine Untersuchungen wählte, einmal weil sie sich factisch von den zugänglichen reizbaren Pflanzen am besten für meine Zwecke eigneten und weil ausserdem bei denselben die Reizbewegungen der äusseren Erscheinung nach am weitesten von einander abweichen. Man wird deshalb, wenn die inneren Ursachen der Bewegung bei beiden dieselben sind, die gleichen inneren Vorgänge bei allen auf Reiz reagirenden Pflanzentheilen annehmen dürfen. Wie ich meine eigenen Untersuchungen an den genannten Objecten nothwendig getrennt darlegen muss, so fordert auch die Literatur für beide eine gesonderte Behandlung; natürlich berücksichtigte ich nur die Arbeiten, welche unserer Kenntniss über die Vorgänge bei der Reizbewegung wirklich förderlich wurden. Diese literarische Uebersicht wird aber auch zeigen, wie zur Zeit übereinstimmende Ansichten über die bei den Reizbewegungen obwaltenden Vorgänge keineswegs herrschen und wie überhaupt solche methodische Untersuchungen fehlen, welche sichere Schlüsse zu ziehen erlaubten.

Mimosa pudica.

Ein erster glücklicher Schritt zur Erkenntniss des Bewegungsmechanismus von Mimosa wurde von Lindsay gethan, welcher im Jahre 1790 von Jamaica aus eine Abhandlung an die Royal Society sandte, die indess ungedruckt liegen blieb, um erst 1827 von G. Burnett und H. Mayo[1]) ans Licht gezogen zu werden. Lindsay entfernte nämlich das obere oder untere Polster an dem Gelenkwulst, welcher den primären Blattstiel mit dem Zweige verbindet und fand, dass sich dann das Polster nach der Schnittfläche concav krümmte, der Blattstiel also eine entsprechende Bewegung aufwärts oder abwärts ausführte. Bei der auf Reiz erfolgenden Bewegung soll nach Lindsay die eine Wulsthälfte — die convex werdende — vermöge gesteigerter Ausdehnungskraft die andere Wulsthälfte herüber drängen, die concav werdende Seite des Gelenkes sich also nur passiv verhalten. Nach der Darstellung von Burnett und Mayo möchte es scheinen, dass Lindsay eine Wanderung von Flüssigkeit aus dem concav werdenden in den convex werdenden Theil des Wulstes annimmt.

1) The Quaterly Journal of Science, Literat. and Art. 1827, Bd. 24, p. 79; ebenda 1828, Bd. 25, p. 434.

Zu einer analogen Auffassung wie Lindsay bekennen sich auch Burnett und Mayo[1]; es soll nämlich Hebung der primären Blattstiele und Blättchen durch zunehmende Expansivkraft der unteren Wulsthälfte, Senkung umgekehrt durch Verlängerung der oberen Wulsthälfte veranlasst werden. Diesen Forschern verdanken wir auch die Entdeckung, dass der Wulst der Blattstiele und Blättchen für leichte Berührung nur auf der Seite empfänglich ist, nach welcher hin die Reizbewegung erfolgt.

Noch ehe die Versuche von Lindsay, sowie von Burnett und Mayo veröffentlicht waren, machte Dutrochet seine zahlreichen mit Mimosa angestellten Experimente bekannt[2]. Aehnliche Versuche wie die von Lindsay angestellten führten Dutrochet zur Erkenntniss des Antagonismus der Wulsthälften und zwar soll bei Abwärtskrümmung die obere Hälfte, also die convex werdende, allein activ betheiligt sein, wie dieses ja auch die vorgenannten Autoren annahmen. Dutrochet hat übrigens in keiner seiner Arbeiten die Ursache der Krümmung als eine Folge der Spannung des Parenchyms, gegen das kaum dehnbare Gefässbündel erkannt, sondern nimmt in seinen früheren Publikationen eine krümmende Ursache im Parenchym selbst an, die weiterhin[3] als durch Endosmose vermittelt angesprochen wird. Uebrigens hielt auch J. Müller[4] eine im Parenchym selbst liegende krümmende Kraft für wahrscheinlich, während durch Treviranus[5] und H. v. Mohl[6] die Erkenntniss angebahnt wurde, dass allein die Expansion des Parenchyms und dessen Spannung gegen das Gefässbündel die Ursache der Einkrümmung sei, was dann durch Brücke (1848) endgültig entschieden wurde. Dass allein durch das Holz ein Reiz fortgepflanzt werden kann, wurde zuerst von Dutrochet[7]) durch entscheidende Experimente dargethan.

Später hat Dutrochet[8] seine frühere Ansicht über den Antago-

---

1) L. c. (1827) p. 76 ff.

2) Récherch. anatom. et physiol. sur la structur. intime des animaux et des végétaux etc. 1824, p. 56 ff. Zum Theil schon im Journal de physique 1822, Bd. XII, p. 474.

3) Dutrochet, Nouv. réch. s. l'endosmose et l'exosmose 1828, p. 73.

4) Handbuch d. Physiol. d. Menschen 1837, Bd. II, p. 21.

5) Zeitschrift f. Physiologie I, p. 176.

6) Ueber die Reizbarkeit der Blätter von Robinia Flora 1832, p. 499 u. Vermischte Schriften 1845, p. 372.

7) L. c. (1824) p. 69 ff.

8) Mémoir. pour servir a l'histoire anatom. et physiol. d. végétaux et d. animaux 1837, Bd. I, p. 539.

nismus der beiden Gelenkwulste bei der Reizbewegung wiederrufen, um eine völlig unklare und unrichtige Theorie an deren Stelle zu setzen. Die Senkung des primären Blattstieles und die Hebung der Blättchen auf applicirte Reize soll nämlich dadurch zu Stande kommen, dass Theile des Gefässbündels (tissu fibreux) Sauerstoff in Folge des Reizes aufnehmen und dadurch das activ Krümmende werden. Nach einiger Zeit höre dann diese Oxygenation des fibrösen Gewebes wieder auf und indem die Krümmungsfähigkeit des parenchymatischen Gewebes von Neuem die Oberhand erhalte, soll die Erhebung des Blattstieles und die Ausbreitung der Blättchen zu Stande kommen. Es genügt der Hinweis auf diese unverständliche Theorie, deren Unmöglichkeit so oft aus Dutrochet's eigenen Experimenten hervorgeht, dass das Festhalten unseres Autors an seiner Ansicht nur durch eine vorgefasste Meinung verständlich wird. Uebrigens wurde die Reizbarkeit und ebenso das activ bewegende auch von anderen Autoren, wie ich schon früher bemerkte, in dem Gefässbündel oder in einzelnen Elementarorganen desselben gesucht.

Die Lindsay-Dutrochet'sche Ansicht, nach welcher die convex werdende Wulsthälfte die activ krümmende sein soll, wird auch von Dassen[1]) vertreten. Dieser Forscher nimmt aber einen Austritt von Flüssigkeit aus der concav werdenden, nach ihm passiven Hälfte an und zwar soll sich diese Flüssigkeit in die Zweige bewegen. Dass sie nicht in die obere Wulsthälfte wandere glaubt Dassen daraus schliessen zu können, dass die Reizbewegung nicht erlischt, wenn durch Einschnitte, welche mit der Trennungsebene der oberen und unteren Wulsthälfte zusammenfallen, die Communication zwischen dem Parenchym der beiden Hälften unterbrochen ist. Die Fortdauer der Reizempfänglichkeit nach Entfernung des grössten Theiles des Blattstieles sieht Dassen als Beweis dafür an, dass die Flüssigkeit nicht in den Blattstiel trete. Da nun unser Autor fand, was freilich unrichtig ist, dass die Reizbarkeit erlischt, wenn Blattstiele an kleinen herausgeschnittenen, aber feucht gehaltenen Zweigstücken sitzen, so kam er hierdurch zu der erwähnten Schlussfolgerung.

Die Fortdauer der periodischen Bewegungen nach Entfernung einer Wulsthälfte wurde zuerst von Dassen, namentlich aber von Meyen[2])

1) Ich kenne nur das ausführliche Referat in Wiegmann's Archiv für Naturgeschichte 1838, Jahrg. IV, Bd. I, p. 352 ff. Das Original findet sich in Natuurkund. Verhandelingen v. d. Hollandsche Maatschappij d. Wetenschappen te Harlem 1835.

2) Physiologie 1839, Bd. 3, p. 487.

Bert[1]). Nach der Ansicht dieses Autors verliert die erschlaffende Hälfte des Polsters einen Theil seiner Energie, ohne dass man eine plausibele Ursache zur Zeit dafür angeben könne.

Wie die Uebersicht der Literatur zeigt ist nicht einmal eine Einigung darüber erzielt, ob bei der Reizbewegung ein Austritt von Flüssigkeit aus Zellen stattfindet und es liegt auch kein Experiment vor, welches einen stichhaltigen Beweis hierfür beibringt. Die auf den ersten Blick allerdings gegen einen Wasseraustritt sprechenden Erörterungen von Nägeli und Schwendener erweisen sich bei näherem Eingehen als ungerechtfertigt. Ich werde weiterhin zeigen, dass factisch ein Austritt von Flüssigkeit bei der Reizbewegung stattfindet und dass die Zellmembranen keineswegs deshalb mit einer besonderen Permeabilität für Flüssigkeiten begabt zu sein brauchen.

Die äusserliche Erscheinnng der auf Reiz erfolgenden bekanntlich, allein durch die Gelenkpolster vermittelten Bewegung von Blattstielen und Blättchen der Mimosa sind allbekannt. Die Blättchen schlagen sich aufwärts zusammen, die spreizenden, aber weniger empfindlichen Blattstiele vermindern die Winkel, welche sie miteinander bilden, der primäre Blattstiel senkt sich um ein individuell verschiedenes und auch von äusseren Bedingungen abhängiges Mass. Sofern ich nicht ausdrücklich anders bemerke, habe ich fernerhin stets nur das Gelenkpolster im Auge, welches den primären Blattstiel mit den Zweigen verbindet. Die Polster der primären Blattstiele reagiren schon auf Reiz, wenn die Blättchen noch in Entfaltung aus der Knospenlage begriffen sind, letztere sind aber auch unmittelbar nach Entfaltung reizbar. Die Cotyledonen der Keimpflänzchen sind gleichfalls reizbar. Bei Tage sind dieselben ausgebreitet oder stehen aufrecht ab und bewegen sich nach Reizung mit ihrer Oberseite gegen einander, ohne sich indess bis zur Berührung zu nähern, welches bei der Nachtstellung ziemlich vollkommen erreicht wird. Ich erwähne dieses, weil zwar schon von De Candolle[2]) und neuerdings auch von Bert[3]) die Reizbarkeit der Samenlappen angegeben ist, während dieselbe von Dassen[4]) geleugnet wurde.

---

1) Mémoir. d. l. soc. d. sc. phys. et naturell d. Bordeaux 1866, p. 34 d. Separatabzugs.

2) Physiologie übersetzt von Röper Bd. II, 1835, p. 647.

3) Mém. d. l. soc. d. sc. phys. et natur. d. Bordeaux 1866, p. 16 des Separatabzugs.

4) Wiegmann's Archiv l. c., p. 349.

Die äusseren Bedingungen der Reizbarkeit kann ich hier übergehen, da ich dieselben bei meinen Untersuchungen als gegeben voraussetze. Dagegen scheint es geboten auf Anatomie und Formänderung des Gelenkpolsters einzugehen, wenn ich auch hier viel Bekanntes wiederholen muss.

Das Polster des primären Blattstieles hat die Gestalt eines Cylinders, welcher sich gegen den Blattstiel ein wenig verschmälert. Die Länge kräftigerer gerade gestreckter Polster liegt zwischen 3 bis 5 Millimeter und ihr Querdurchmesser beträgt 1,2 bis 2 Millimeter. Der Querschnitt ist übrigens häufig etwas elliptisch, in welchem Falle die grössere Achse mit der Trennungsebene der oberen und unteren Polsterhälfte zusammenfällt. Der Gelenkwulst wird an seinem oberen und unteren Ende durch Ebenen begrenzt, welche annähernd senkrecht auf der Längsachse des Cylinders stehen und sind also obere und untere Hälfte des Polsters ziemlich gleich lang, wenn dieses gerade gestreckt ist. In diesem Falle bildet die Längsachse des Gelenkwulstes mit dem tragenden Zweige einen nach unten stumpfen Winkel, woraus folgt, dass die Insertionsfläche des Polsters gegen die Zweigachse spitzwinkelig geneigt, also auf einer schief abgeschnittenen Fläche des Zweiges eingefügt ist. Die Längsachse des Polsters und des Blattstieles bilden miteinander einen sehr stumpfen, erdwärts geöffneten Winkel[1].

Aus dem Zweige treten drei Gefässbündel in den Blattstiel, welche sich bei dem Eintritt in das Gelenk zu einem einzigen vereinen, sich beim Austritt aber wieder in drei Bündel trennen, deren Verlauf im Blattstiel und Verhalten beim Austritt in die secundären Blattstiele und in die Blättchen von Millardet[2] beschrieben ist. Das vereinte Gefässbündel des Polsters hat einen elliptischen Querschnitt dessen grosse Achse mit Trennungslinie von Ober- und Unterseite annähernd zusammenfällt. In Richtung der kleineren Achse gemessen, beträgt der Durchmesser des Gefässbündels ungefähr $^1/_4$ bis $^1/_5$ von dem Durchmesser des ganzen Polsters. Der äussere Mantel des elliptischen Gefässbündelcylinders wird von mehreren Lagen lang gestreckter Zellen gebildet, deren äussere Schichten als Hartbast von den inneren Lagen, dem Weichbast, unterschieden werden können. Innerhalb des letzteren liegt der ziemlich mächtige Holzkern, der aus dickwandigen Holzzellen und aus in radiale Reihen angeordneten Gefässen zusammen-

1) Vrgl. Brücke, Müller's Archiv. 1848, p. 445.

2) Nouv. réch. sur la périodicité d. l. tension 1869, p. 8. Abdruck aus den Mémoir. d. l. soc. d. scienc. natur. d. Strasbourg.

gesetzt ist. Die Gefässe des reizbaren Polsters fand ich immer luftführend, ebenso die Holzzellen, welche indess in sehr jugendlichen, eben erst reizbar werdenden Polstern wenigstens theilweise noch flüssigen Inhalt besitzen. Die das Polster umgebenden Bastelemente bleiben immer safterfüllt.

Das parenchymatische Gewebe, welches das Gefässbündel umgiebt, bildet auf der Oberseite des Polsters eine etwas weniger dicke Schicht, als auf der Unterseite, während die Mächtigkeit der Parenchymschicht nach beiden Flanken des Gelenkwulstes hin dieselbe ist. Die Polster sind also monosymmetrisch und zwar halbirt die Symmetrieebene sowohl Oberseite als Unterseite des Gelenkes. Die Linien in welcher die Ebene eines solchen Medianschnittes die Aussenflächen der Polster schneidet, werde ich Mittellinie der Oberseite und der Unterseite des Gelenkes nennen; als Seitenlinien bezeichne ich aber diejenigen Linien, in welchen die Ebene, welche Ober- und Unterseite des Polsters trennt, die freie Aussenfläche schneidet. Auch letztere Ebene halbirt annähernd das Gefässbündel, schneidet sich also in dessen Mitte mit der Symmetrieebene. Einige Messungen an Querschnitten ergaben mir ein mit Millardet's[1]) Angaben übereinstimmendes Resultat bezüglich der Mächtigkeit des Parenchyms auf Ober- und Unterseite des Polsters; es verhält sich nämlich dieselbe durchschnittlich wie 6 : 7, das von Dutrochet[2]) angegebene Verhältniss von 3 : 5 ist unrichtig.

Das aus ziemlich kugeligen Zellen bestehende Gewebe des Polsters ist gegen das grosszelligere Gewebe der Zweige, wenn auch nicht scharf, so doch besser abgegrenzt, als gegen das Gewebe des Blattstieles, in welches es allmälich übergeht. Das Parenchym des Gelenkwulstes wird von einer kleinzelligeren Epidermis umgeben, deren freien Aussenwände nur mässig verdickt und cuticularisirt sind. Wie Brücke[3]) nachwies, haben die Zellen der Oberseite des Wulstes dickere Wände, als die Zellen der Unterseite; nach Millardet's[4]) Messungen ist die Wandstärke in der oberen Polsterhälfte ungefähr dreimal mächtiger, als in der unteren Hälfte. Gegen die Berührungsebene der oberen und unteren Wulsthälfte vermindert sich die Dicke der Zellwände beiderseits derart, dass den in jener Ebene liegenden Zellen eine mittlere Wandstärke zukommt. Da indess, wie auch schon Brücke fand, in jugendlichen, schon reizbaren Polstern die Zellwände des Parenchyms der Ober- und

1) L. c. p. 9.
2) Mémoir etc. 1837, p. 508 u. 521.
3) L. c. 1848, p. 437 u. Taf. XVI, Fig. 2 u. 3.
4) L. c. p. 9.

Unterseite an Dicke nicht verschieden sind, so kann schon deshalb die Ursache der alleinigen Reizempfänglichkeit der unteren Polsterhälfte nicht in Beziehung zu der geringeren Wandstärke der Zellen dieser gebracht werden, abgesehen davon, dass z. B. bei der reizbaren Oxalis Acetosella für die Parenchymzellen eine Differenz in der Dicke der Wände beider Polsterhälften nicht existirt.

In den das Gefässbündel zunächst umgebenden Parenchymschichten finden sich zwischen den Zellen ansehnliche Intercellularräume, welche nach Aussen schnell an Grösse abnehmen, jedoch in Form sehr kleiner, auf dem Querschnitt dreieckiger Räume noch in der Parenchymschicht unter der Epidermis nachzuweisen sind. Nur die grösseren Intercellularräume in den das Gefässbündel zunächst umgebenden Parenchymschichten findet man an Schnitten luftführend, alle übrigen Intercellularräume enthalten Flüssigkeit[1]. Die Anzahl der Parenchymschichten mit lufterfüllten Zwischenräumen ist bei verschiedenen Objecten schwankend, sie bewegt sich zwischen drei bis acht Mantellagen.

Wenn auch die Intercellularen zwischen den weiter nach Aussen liegenden Zellen von geringer Grösse sind, so communiciren dieselben doch, vom Gefässbündel ab gerechnet, mindestens bis in oder etwas über die Mitte des Parenchymgewebes, wie ich durch Injection mit Carmin nachweisen konnte. Es wurde zu diesem Zwecke ein Zweigstück einer Mimosa luftdicht in einen Kork geführt, das daran befindliche Gelenkpolster dicht am Blattstiel durchschnitten und dann der Kork so auf einem kleinen Glas befestigt, dass das Polster in das darin befindliche Wasser reichte, in welchem ziemlich viel Carmin sehr fein vertheilt war. Die eine Schnittfläche des Zweiges schaute also frei aus dem Kork hervor, die andere in die Flüssigkeit reichende Schnittfläche war zuvor sorgfältig mit Lack verschlossen worden. Das Gläschen kam dann unter den Rezipienten der Luftpumpe und blieb einige Zeit in dem bis auf wenige Millimeter Quecksilberdruck evacuirten Raume.

Bei der Untersuchung hat man aus naheliegenden Gründen sein Augenmerk auf das der Schnittfläche des Wulstes nahe liegende Gewebe zu richten. Da aber bei Anfertigung von Schnitten aus den mit Wasser durchtränkten Polstern der Carmin sich mehr oder weniger über die Schnittfläche verbreitet, so ist auf diese Weise eine sichere Beobachtung der ursprünglichen Vertheilung des Carmins kaum möglich, welche indess völlig gelingt, wenn man zunächst die injicirten Gelenkwülste ziemlich weit austrocknen lässt. An den nun angefertigten und in Wasser ge-

1) Vgl. Brücke, Sitzgb. d. Wien. Akad. 1864, Bd. 50, Abth. II, p. 203. Sachs, Experimentphys. p. 482.

tragenen Querschnitten findet man in den Intercellularen Klümpchen von Carmin, welche entweder ohne weiteres sicher zu erkennen sind, oder deren Natur doch leicht dadurch festzustellen ist, dass man ein wenig Ammoniak enthaltendes Wasser zu den Schnitten treten lässt, indem nun Lösung unter bekannter Färbung erfolgt. In solcher Weise konnte ich, wie schon bemerkt wurde, bis in oder über die Mitte des Parenchyms, sowohl in der oberen als unteren Polsterhälfte, Carmin mit Sicherheit in den Intercellularen nachweisen, auch in solchen, welche auf dem Querschnitt schon als recht kleine dreieckige Räume zwischen den Zellen erschienen. Wenn man übrigens bedenkt, dass die Parenchymzellen die Gestalt von Kugeln haben, welche durch Abflachung an den Berührungspuncten mit grösseren Flächenstücken miteinander in Verbindung treten, so wird man sich an einem Haufen zusammengeworfener Kugeln leicht klar machen können, wie auch kleinere Zwischenräume noch in Communication stehen können. Diese wird sich aber voraussichtlich noch auf etwas weiter nach Aussen liegende Intercellularräume erstrecken, als sich durch die in angegebener Weise ausgeführte Injection nachweisen liess.

In den Parenchymzellen trifft man einen nichts absonderliches bietenden Protoplasmakörper, nämlich einen Zellkern, welcher durch eine geringe Anzahl von Protoplasmasträngen in dem Zelllumen aufgehängt ist, wenn er nicht in dem wenig mächtigen Wandprotoplasma liegt (Fig.4). Der Zellkern wurde von Brücke[1]) übersehen, tritt übrigens auch in der relativ stark lichtbrechenden Zellflüssigkeit nicht sehr deutlich hervor. Noch undeutlicher heben sich aber die Protoplasmastränge ab, deren Erkennung schon einige Sorgfalt erfordert. In dem Protoplasma, am reichlichsten in den dem Gefässbündel näher liegenden Parenchymzellen, finden sich kleine Chlorophyllkörner mit eingeschlossenen Stärkekörnchen, welche letzteren übrigens auch ausserdem im Protoplasma vorkommen. Diese Körnchen von Chlorophyll und Stärke sah Dutrochet[2]) als Nervenkörperchen an und schrieb diesen eine wesentliche Bedeutung für die Reizbarkeit der Mimosa pudica zu. Ausserdem findet sich in den Zellen eine das Licht stark brechende, etwas gelbbräunliche, kugelige Masse, welche $^1/_3$ bis $^1/_2$ des Zelldurchmessers erreichen kann (Fig. 4). Diese Kugeln

1) L. c. 1848, p. 436.

2) Réch. anatom. et physiol. etc. 1824, p. 39. — Uebrigens wurde später von Morren für Stylidium in den Stärkekörnchen die Ursache der auf Reiz erfolgenden Bewegung gesucht. Réch. sur l. mouv. etc. du Stylidium graminifolium. Mém. de l'Acad. d. Bruxelles 1837, p. 19 des Separatabzugs.

wurden von fast allen Autoren (z. B. Meyen, Mohl, Millardet) als Oel angesprochen; Brücke[1]) beschränkt sich freilich darauf zu sagen, dass die Kugeln jedenfalls aus einer mit Wasser nicht mischbaren Flüssigkeit bestehen und dass sie auf Zusatz von Säuren, Alkalien, Weingeist oder Aether zerfliessen und sich dabei auf Wasser wie ein Oeltropfen ausbreiten. Dutrochet[2]) betrachtete diese Kugeln als Zellen, welche durch ein sehr zartes Gewebe — offenbar den eigentlichen Zellwänden — miteinander verbunden seien.

In unmittelbarer Beziehung zu der Reizempfänglichkeit stehen diese Kugeln freilich nicht, da dieselben, wie schon H. v. Mohl[3]) bemerkt, in den Zellen anderer reizbarer Organe fehlen können. Sie finden sich übrigens auch in jugendlichen, eben reizbar werdenden Gelenkwülsten von Mimosa nicht. Die fraglichen kugeligen Tropfen sind bei Mimosa nicht auf die Bewegungspolster der Blattstiele und Blättchen beschränkt, wo sie in allen Parenchymzellen vorkommen, sondern finden sich auch in vereinzelten parenchymatischen Zellen der Zweige und der Blattstiele unserer Pflanze. Sie kommen ausserdem nach Meyen in den Gelenken von Hedysarum gyrans, nach Unger bei Glycyrrhiza vor, wie ich dieselben auch in vielen Parenchymzellen des Gelenkpolsters der Blättchen von Oxalis stricta fand, während sie bei Oxalis Acetosella fehlen, und auch in den Gelenkwülsten von Phaseolus, Robinia u. a. vermisst werden. Aehnliche Kugeln kommen auch in vereinzelten Zellen vieler gerbstoffhaltigen Rinden, wie bei Salix, Betula, Alnus, Quercus vor, in denen sie Nägeli und Schwendener[4]) entdeckten und als eine gerbstoffreiche Lösung erkannten. Die Kugeln finden sich übrigens nicht allein in der Rinde, sondern auch in andern parenchymatischen Zellen, z. B. bei Salix vereinzelt in den Markstrahlen und in der Markkrone. Bei Mimosa ist aber das Verhältniss der Kugeln zu Protoplasma und Zellflüssigkeit weit besser festzustellen, als bei jugendlichen Rinden, soweit mir wenigstens diese aus Anschauung bekannt sind. Aus diesem Grunde, und um die Methode des Nachweises der Zusammensetzung darzulegen, werde ich näher auf die fraglichen Tropfen eingehen. Es finden sich diese, wie ich schon bemerkte, in eben reizbar werdenden Gelenkwülsten von Mimosa nicht, doch habe ich die Art und Weise ihres ersten Auftretens nicht näher studirt.

1) L. c. 1848, p. 436.
2) Réch. anatom. et physiol. etc. 1824, p. 41.
3) Vegetabilische Zelle 1851, p. 145 u. 148.
4) Mikroskop 1867, p. 492.

Schon Nägeli und Schwendener erkannten, dass die fraglichen kugeligen Tropfen in Rindenzellen durch eine Plasmahaut von dem übrigen, mit Chlorophyll und wässrigem Zellsaft ausgefüllten Theil des Zelllumens geschieden sind. Bei Mimosa ist dasselbe der Fall und lässt sich hier, wo die Kugeln relativ kleiner als in Rinden sind, bestimmt erkennen, dass dieselben in der Zellflüssigkeit (Metaplasma) liegen, nicht etwa Vacuolen im Protoplasma sind. Es gelingt nämlich bei gehöriger Vergrösserung den Protoplasmakörper mit seinem Kern und seinen Bändern völlig zu übersehen und sich von der Richtigkeit des eben Gesagten zu überzeugen. Auch das Vorhandensein einer membranartigen Hülle kann ich nur bestätigen; eine solche bleibt auch dann zurück, wenn man aus den Zellen herausgefallene und isolirt in Wasser liegende Kugeln mit verdünntem Alkohol oder mit Säuren behandelt, welche die Lösung des Inhalts in Wasser zur Folge haben. Die restirende Membran scheint sich mit wässriger Cochenillelösung zu färben, doch will ich es nicht mit positiver Sicherheit behaupten, wie ich auch im Zweifel blieb, ob mit Jod eine Färbung eintritt. Es dürfte diese membranartige Umhüllung wohl analog aufzufassen sein, wie die Niederschlagsmembranen Traube's[1]), welche u. a. auch dann entstehen, wenn ein Tropfen Gerbsäurelösung von Leimlösung umgeben ist. Möglich, dass auch in den Zellen irgend ein eiweissartiger Körper der äussere Membranbildner im Sinne Traube's ist.

An in Wasser liegenden Schnitten habe ich selbst nach 12 Stunden noch Kugeln erhalten gesehen. Wenn aber das Wasser ein wenig Säure, Alkali oder auch nur $^1/_5$ seines Volumens an Alkohol enthält, so verschwindet der Inhalt der Kugeln sehr schnell, während die membranartige Umhüllung zurückbleibt. In diesem Verhalten liegt schon der sichere Beweis, dass die Tropfen jedenfalls nicht aus einem ölartigen oder harzartigen Stoff bestehen können, denn in diesem Falle würden sie jedenfalls bei der vorgenannten Behandlung nicht verschwunden sein. Da die Kugeln nicht trübe, sondern durchsichtig sind, so können sie unbedingt nicht eine Emulsion von Harz oder Fett sein; nur für eine solche wäre es aber denkbar, dass durch eine feine Vertheilung der Harz- oder Fettpartikelchen im Wasser der Inhalt, ohne sich wirklich zu lösen, der Wahrnehmung entzogen würde. In jedem anderen Falle würden aber harzartige oder fettartige Flüssigkeiten in Tropfenform bestehen bleiben, wenn auch durch eine Zerstörung oder

---

1) Archiv f. Anat. u. Physiol. von Reichert u. du Bois-Reymond 1867, p. 89 ff.

Veränderung der membranartigen Hülle durch so verdünnte Reagentien, wie ich sie anwandte, das umgebende Wasser freien Zutritt zu dem Inhalt fände. Uebrigens ist auch zu bemerken, dass nach Verschwinden der Kugeln in Folge der Einwirkung von verdünntem Alkohol oder Säuren, Oeltröpfchen auf den Schnitten und in deren Umgebung erst nach längerer Zeit zusammenfliessen und zwar in keiner grösseren Menge, als bei Verwendung von Schnitten aus anderen safterfüllten parenchymatischen Geweben.

Aufschluss über die chemische Natur der fraglichen Kugeln erhält man am besten mit Hülfe von doppelt chromsauren Kali, dem zuerst von Sanio empfohlenen Reagens für Gerbsäure. Lässt man in einer ziemlich concentrirten Lösung des genannten Salzes Gelenkwülste von Mimosa 12 bis 24 Stunden liegen, so haben sich die Kugeln in eine rothbraune, in Alkohol unlösliche Masse verwandelt, wie sie mit Gerbsäure überhaupt entsteht. An Schnitten gelingt es dann nicht selten neben diesen rothbraunen kugeligen Massen den deformirten Protoplasmakörper zu übersehen. Man kann übrigens auch die Umwandlung der fraglichen Tropfen in solche rothbraune Massen unter dem Mikroskop verfolgen, wenn man zu Schnitten concentrirte Lösung von doppelt chromsaurem Kali treten lässt. Kugeln, welche von dieser Lösung sofort umspült werden, lassen oft schon nach kurzer Zeit den Beginn der rothbraunen Färbung erkennen und nach 15 Minuten kann die Umwandlung schon vollendet sein. Die Kugeln in den parenchymatischen Zellen jüngerer Rinden von Salix und Alnus verhalten sich denen von Mimosa ganz gleich.

Den Gehalt einer grösseren Menge von Gerbsäure in den Gelenkwülsten von Mimosa kann man auch leicht durch die bläuliche Färbung, welche Schnittflächen mit neutralen Eisenlösungen annehmen, feststellen[1]. Giebt man zu in Wasser liegenden Schnitten Lösung von schwefelsaurem Eisenoxydul, so gelingt es nicht häufig die Kugeln selbst sich färben zu sehen, indem gewöhnlich deren Inhalt vom Wasser aufgenommen wird und bei gehöriger Sorgfalt des Versuches im Augen-

1) Die Klingen von Messern nehmen, wo sie mit dem Zellsaft von Mimosa in Berührung kommen ein rostfarbenes Ansehen nach kurzer Zeit an. Nach Millardet (l. c. p. 10 Anmerkg.) soll in der Zellflüssigkeit vorhandenes oxalsaures Kali die Ursache sein. Ob dieses Salz wirklich in grösserer Menge in dem Zellsaft von Mimosa enthalten ist, lasse ich dahin gestellt, jedenfalls kann es aber eine solche Färbung mit Eisen nicht bilden. Es scheint am wahrscheinlichsten, dass jene Färbung veranlasst wird durch das Zusammenwirken von Gerbsäure und anderen Säuren des stark sauer reagirenden Zellsaftes. Ich spreche hier übrigens nur eine Vermuthung aus, da ich keine Versuche zur Entscheidung angestellt habe.

blick des Austrittes aus der membranartigen Hülle eine bläuliche Wolke in der Eisenlösung verbreitet. Es vermag also die Lösung von schwefelsaurem Eisenoxydul jedenfalls nur sehr schwer, vielleicht auch gar nicht, durch die unveränderte Membran zu dringen, welche die gerbsäurereichen Tropfen umgiebt[1]. Durch mässig concentrirte Salpetersäure können die Kugeln, wie schon Dutrochet[2]) bemerkte, in eine rothbraune Masse verwandelt werden.

Beim beginnenden Eintrocknen der Schnitte wird die Oberfläche der Kugeln zunächst etwas uneben, weiterhin verschwinden sie dann oder bleiben auch als unregelmässig geformte Ballen in den ausgetrockneten Zellen zurück. Wir erfahren so, dass der Inhalt ein ziemliches Quantum fester Stoffe enthält und können auch aus dem Verhalten bei Einwirkung sehr concentrirten Glycerins oder sehr dickflüssiger Zuckerlösung schliessen, dass der Inhalt der bewussten Tropfen jedenfalls eine Lösung ziemlicher Concentration sein wird. Der Durchmesser der Kugeln wird nämlich durch die eben genannten Flüssigkeiten wohl kaum um ein Drittel vermindert. Aus dem Verhalten gegen doppelt chromsaures Kali folgt aber auch, dass in der That eine grosse Menge von Gerbsäure in den Kugeln vorhanden ist. Denn wenn auch die erhaltenen rothbraunen Massen an Volumen merklich gegen die ursprünglichen Tropfen zurückstehen, repräsentiren jene doch eine relativ sehr ansehnliche Menge fester Substanz, welche aus Gerbsäure entstand. Genauere Schlüsse auf die relative Quantität der Gerbsäure würden sich auch durch vergleichende Volumenberechnung der unveränderten und der durch doppelt chromsaures Kali veränderten Kugeln nicht ziehen lassen, wenn nicht eine Reihe nothwendiger Prämissen zuvor erledigt würde.

Mit Sicherheit lässt sich also sagen, dass der flüssige Inhalt der fraglichen kugeligen Massen jedenfalls eine relativ ziemlich grosse Menge von Gerbsäure[3]) gelöst enthält, ob auch noch andere Stoffe darin vorkommen, darüber weiss ich zur Zeit nichts auszusagen.

Es bleibt nun noch zu bemerken, dass die kugeligen Tropfen sich keineswegs immer nur in Einzahl in einer Zelle finden, sondern auch zu mehreren vorhanden sein können, von denen jede einzelne dann natürlich kleiner ist. Die bewussten Körper sind aber auch nicht immer rein kugelig. Wo sie dem Wandprotoplasma anliegen, sind sie häufig etwas abgeflacht,

---

1) Vergl. Traube l. c. p. 133 ff.

2) Réch. anatom. etc. 1824, p. 42.

3) Ich meine hier die Gerbsäure des Handels. Nach Schiff (Berichte d. deutsch. chem. Gesellschaft 1871, p. 231 u. 1872, p. 967) ist diese aber ein leicht zersetzbares Glycosid der Polygallussäure.

aber auch frei in die Zellflüssigkeit ragende Flächen können doch von der Kugelform etwas abweichen. Uebrigens können auch die um flüssige Massen sich bildenden Niederschlagmembranen, wie Traube zeigte, von der Kugelgestalt abweichende Formen annehmen.

In den stark sauer reagirenden Parenchymzellen[1]) des Gelenkwulstes von Mimosa findet sich eine sehr reichliche Menge Glycose (d. h. Kupferoxyd reducirende Substanz), die Elementarorgane des Gefässbündels sind aber, wie gewöhnlich, frei davon. Die Glycose ist im Gelenkwulst sehr viel reichlicher vorhanden, als in irgend welchen Parenchymzellen gestreckter Internodien oder der Blattstiele, in welchen dieselbe übrigens auch nachzuweisen ist. Die Vermuthung Brücke's[2]), in den parenchymatischen Zellen des Wulstes möchte viel Gummi vorkommen, stützt sich nur auf die starke endosmotische Wasseraufnahme dieser Zellen, welche natürlich ebenso gut durch ansehnlichen Zuckergehalt veranlasst werden kann. Da wir kein sicheres mikrochemisches Reagens zur Erkennung des Gummis in Lösungen besitzen, so lässt sich allerdings die Möglichkeit des Vorkommens eines gewissen Quantums von Gummi in dem Zellinhalt nicht abstreiten. Sehr ansehnlich dürfte indess die Menge des Gummis deshalb nicht sein, weil durch absoluten Alkohol aus der Zellflüssigkeit kein Stoff gefällt wird, welcher auf Gummi schliessen liesse.

Wenden wir uns nun der Mechanik der Reizbewegung zu, in die erst durch Brücke's bahnbrechende Arbeit wirkliches Licht kam. Dieser Forscher constatirte zuerst, dass das Parenchymgewebe des Gelenkwulstes comprimirt, d. h. positv gegen das umschlossene Gefässbündel gespannt ist. Auf einen Reiz erschlafft aber die untere Hälfte des Gelenkes (ich habe auch hier immer nur das Gelenkpolster des primären Blattstieles im Auge) und es erfolgt nun natürlich eine nach dieser hin concave Krümmung schon deshalb, weil die von dem kaum dehnbaren Gefässbündel fernsten Mantellagen des Parenchyms der oberen Wulsthälfte mehr als die näher liegenden Lagen ihrem Ausdehnungsstreben Folge leisten können. Die Verminderung oder Ausgleichung der Concavität und damit Hand in Hand gehend die Erhe-

1) Bekanntlich reagirt der Inhalt der meisten Parenchymzellen sauer und ist deshalb an eine genetische Beziehung dieser sauren Reaction zur Reizbarkeit, wie Virey will (Journal d. pharmac. 1839, Bd. 25, p. 289), nicht zu denken.

2) L. c., (1848) p. 436.

bung des Blattstieles geschieht durch das in der Ruhe wieder zunehmende Expansionsstreben der unteren Wulsthälfte.

Wie schon aus Brücke's Messungen hervorgeht[1]), ist die Dehnbarkeit des im Gelenke liegenden Gefässbündels jedenfalls nur eine sehr geringe, was übrigens auch schon deshalb vorauszusehen war, weil verholzte Zellen zwar im hohen Grade elastisch, aber nur äusserst wenig dehnbar sind[2]). Um indess völlig sicher zu gehen wurde ein Gefässbündel von dem umgebenden Parenchym des Gelenkwulstes befreit, dann durch ein Gewicht von 5 Grm. gespannt gehalten und die Distanz zweier Marken jetzt und nach einer weiteren Belastung von 40 Grm. mikrometrisch gemessen. Die Entfernung wurde in beiden Fällen gleich gefunden, obgleich die Marken ziemlich genau 2 Millimeter voneinander abstanden und die Messung eine unbedingte Genauigkeit bis auf 0,01 Millimeter garantirte. Erst ein ziehendes Gewicht von 60 Grm. und mehr vermehrte den Abstand der Marken, die Elasticitätsgrenze war dann aber jedesmal überschritten, die Marken gingen nach Entfernung des angehängten Gewichtes nicht wieder auf die frühere Distanz zurück. Dass eine Dehnung innerhalb der Elasticitätsgrenze überhaupt nicht gefunden wurde, war übrigens zu erwarten, da Buchenholz sich bis zur Elasticitätsgrenze nur um $^1/_{600}$ seiner Länge[3]), also um eine bei meiner Versuchsanstellung unmessbare Grösse ausdehnen lässt. Uebrigens ist die Kraft, welche das Expansionsstreben des Parenchyms repräsentirt, jedenfalls eine ungleich geringere als dem Zuge eines Gewichtes von 40 Gramm entspricht.

Wenn das Gefässbündel bei der Reizbewegung keine Veränderung der Länge erfährt, so wird dieses auch, wie leicht einzusehen ist, für die Seitenlinie am unverletzten Polster gelten. Eine Anzahl in dieser Richtung angestellter Messungen entsprachen der Voraussetzung. Da dieses Resultat indess zu sicher vorauszusehen war, so unterlasse ich es diese Messungen mitzutheilen.

Wird das Parenchym durch geeignete Schnitte vom Gefässbündel getrennt, so verlängert sich bekanntlich das der oberen Wulsthälfte sogleich um ein ansehnliches Stück, während das Gefässbündel seine ursprüngliche Länge beibehält. In gleicher Weise verhält sich die untere Wulsthälfte, wenn man durch Chloroform oder Aether ihrer Reizbarkeit beraubte Polster zum Versuche verwendet. Secirt man

---

1) L. c., 1848, p. 438.
2) Nägeli u. Schwendener, Mikroskop 1867, p. 403.
3) Ebenda, p. 404.

reizbare Polster, so weicht die Länge der beim Zerschneiden gereizten unteren Hälfte von der des Gefässbündels nicht weit ab. In Wasser gelegt erfährt dann aber die untere Wulsthälfte, welche übrigens nun unempfindlich für Reiz ist, eine ansehnliche Verlängerung. Auch wenn die isolirte, positiv gespannte untere Polsterhälfte chloroformirter Gelenke in Wasser getragen wird, verlängert sie sich noch um ein erhebliches Stück. Ebenso zeigt auch stets die abgetrennte obere Wulsthälfte beim Einlegen in Wasser durch endosmotische Aufnahme von Wasser in die Zellen einen ansehnlichen Längenzuwachs. Aus den mitgetheilten Resultaten folgt aber, dass das parenchymatische Gewebe des unverletzten Gelenkes das Maximum seiner Expansionsfähigkeit niemals erreicht.

Es ist hier nöthig nachdrücklich darauf hinzuweisen, dass die Aenderung der Längendimension isolirter Gewebeschichten nur aussagt, welcher Art die Gewebespannung, ob positiv oder negativ ist, keineswegs indess einen Schluss auf die Spannungsgrösse (Spannungsintensität) erlaubt, wie Kraus[1]) annahm. Denken wir uns z. B. einen Streif aus Kautschuk und einen anderen viel kürzeren Streif aus Stahl so miteinander vereint, dass das Kautschuk comprimirt, d. h. positiv gespannt, der Stahl gedehnt, d. h. negativ gespannt ist, so werden die vereinten Streifen eine aus den Spannungsgrössen resultirende Länge annehmen, welche in unserem Falle der des Stahlstreifens äusserst nahe kommen wird. Obgleich also der Stahlstreif sehr wenig expandirt ist, der Kautschukstreif hingegen sehr stark verkürzt sein kann und demgemäss sich beim Isoliren sehr bedeutend verlängern wird, so sind dennoch die elastischen Kräfte, d. h. die Spannungsintensitäten, der beiden vereinten Streifen natürlich genau dieselben. Denn dasselbe Gewicht, welches nöthig sein würde den Stahlstreif um ebensoviel zu verlängern, wie es durch das Expansionsstreben des Kautschuks geschah, würde den betreffenden Kautschukstreifen um ein gleiches Maass comprimiren, wie es bei der Vereinigung mit dem Stahlstreifen der Fall war, wobei hier natürlich immer angenommen ist, dass die Elasticitätsgrenze nicht überschritten wurde. Die wirkliche, durch die elastischen Kräfte des comprimirten Kautschukstreifens und des expandirten Stahlstreifens repräsentirte Arbeitsgrösse würde sich berechnen lassen, wenn die Elasticitätscoefficienten und die Querschnitte

1) Bot. Ztg. 1867, p. 107. — Nach dem Niederschreiben gingen mir durch die Freundlichkeit des Herrn Hofrath Sachs die denselben Gegenstand behandelnden Bogen der III. Aufl. von dessen Lehrbuch der Botanik zu. Sachs hat hier (p. 700) die fraglichen Puncte in gleicher Weise klar gestellt.

der angewandten Streifen gegeben wären. Hingegen würde ein relatives Mass für die elastischen Kräfte sich auch dann gewinnen lassen, wenn nur Verlängerung und Verkürzung beim Isoliren der Streifen und der Querschnitt dieser bekannt wären. Sind zwei Streifen von gleicher Elasticität und gleichem Querschnitt miteinander vereint, so wird beim Isoliren Verlängerung und Verkürzung des positiv und negativ gespannten Streifens natürlich nach einem gleichen Masse vor sich gehen.

Bei Gewebecomplexen wird es allerdings der Regel nach schon deshalb auf unüberwindbare Schwierigkeiten stossen auch nur ein brauchbares relatives Mass der Spannungsgrössen (der elastischen Kräfte) zu gewinnen, weil in den isolirten Gewebestreifen die verschiedenen Schichten wieder unter sich gespannt sind, die Länge des isolirten Streifens also die Resultirende aus möglicherweise sehr ungleich grossen Spannungsintensitäten sein kann. Ausserdem können natürlich auch verschiedene Verhältnisse, wie die Form und die Verbindung der Zellen miteinander und manche andere Ursachen eine Bestimmung der relativen oder absoluten Spannungsgrösse von Gewebeschichten unmöglich machen. Doch stehen wir hier, wenn auch vielfache Schwierigkeiten sich entgegengestellen, keineswegs vor einem empirischer Forschung unzugänglichem Gebiete.

Die obigen Auseinandersetzungen schienen mir nothwendig, weil gegen die darin enthaltenen Grundprincipien öfters gefehlt wurde. So auch von Millardet[1]), welcher der oberen parenchymatischen Wulsthälfte von Mimosa eine grössere Spannungsintensität, als der unteren Hälfte zuschreibt, weil jene nach Isoliren und Einlegen in Wasser sich mehr verlängert (etwa um die Hälfte) als diese. Es ist aber klar, wie eine solche Auffassung unrichtig ist; übrigens würden sich einer brauchbaren Bestimmung der Spannungsintensität des Parenchyms in den Gelenkwülsten von Mimosa erhebliche Schwierigkeiten entgegenstellen, welche ich hier nicht andeuten will.

Wir haben früher erfahren, dass die Dehnbarkeit des Gefässbündels eine so minimale ist, dass wir dieselbe bei Spannungsänderungen im Parenchym unbedingt vernachlässigen können. Wenn bei der Reizbewegung das Gefässbündel gekrümmt wird, so muss sich natürlich die convex werdende Seite desselben verlängern, die concav werdende entsprechend verkürzen, in einer zwischenliegenden Fläche wird aber die ursprüngliche Länge unverändert bleiben. Diese neutrale Fläche fällt jedenfalls annährend zusammen mit der Ober- und Unterseite

---

1) L. c., p. 15.

trennenden Symmetrieebene des Gefässbündels, da dieses eben beiderseitig anatomisch gleich gebaut ist. Die Verlängerung dieser Symmetrieebene bis zur freien Aussenfläche des Gelenkes bezeichnet aber auch naturgemäss die Trennung von Ober- und Unterseite des Polsters, weil damit auch die neutrale Fläche für das Parenchym bei Einkrümmung des Polsters gegeben ist. Selbstverständlich kann es sich aber hier nur um annähernde, nicht um absolut genaue Lagenbestimmung der neutralen Fläche handeln, welche ohnehin sehr kleine Verschiebungen erfahren wird, die übrigens für unsere Zwecke durchaus gleichgültig sind. Bedenken wir nämlich, dass nach dem Reiz wesentlich nur noch positive Spannung zwischen dem Parenchym der oberen Polsterhälfte und dem Gefässbündel vorhanden ist, so folgt hieraus, dass die neutrale Achse sich ein wenig gegen das spannende Gewebe verschieben wird. Freilich ist bei der so minimalen Dehnbarkeit des Gefässbündels diese Verschiebung eine unmessbar geringe und hat eine practische Bedeutung durchaus nicht, weshalb ich mich hier auch auf die Andeutung beschränke und auf die klare Darlegung bei Nägeli und Schwendener[1]) verweise.

Wir können nunmehr uns klar machen, welche Zunahme, resp. Abnahme die Höhe der unteren, resp. der oberen Wulsthälfte erfahren muss, wenn Verkürzung und Verlängerung der beiden Polsterhälften einfach durch Formänderung der Zellen zu Stande kommt, das Volumen einer jeden Hälfte also unverändert bleibt. Ehe wir uns aber durch Rechnung eine Vorstellung über Zunahme oder Abnahme der Höhe der unteren oder oberen Polsterhälfte bilden können, müssen wir zunächst wissen, ob der Querdurchmesser des Gelenkes bei der Reizbewegung keine Veränderung erfährt. Es ist dieses freilich nach den vorherigen Auseinandersetzungen über die neutrale Fläche mehr als wahrscheinlich, doch hielt ich es für geboten durch directe Messungen die Richtigkeit festzustellen. Es wurde deshalb in weiterhin mitzutheilender Weise die Entfernung zwischen den beiden Seitenlinien des Polsters an zwei fixen, genau gegenüberstehenden Marken vor und nach Reiz gemessen und zwar ausschliesslich an sehr kräftigen und sehr reizbaren Gelenkwülsten, welche in allen Fällen vor der Reizung ziemlich gerade waren. Die Einkrümmung bei Reizung wird durch die in der folgenden Tabelle angegebenen Radien angezeigt, welche zu der Mittellinie der unteren Polsterhälfte gehören, übrigens nur ein annäherndes Mass sein sollen. Es wurden nämlich diese Krümmungs-

1) Mikroskop 1867, p. 416. Vgl. auch p. 405.

radien mit Hülfe von Kreisbogenstücken mit bekannten Halbmessern bestimmt, welche concentrisch auf einen Cartonstreifen aufgetragen waren und zwar für die kleineren Radien für alle um 1 Millimeter grösseren Halbmesser. Da diese bei der Einkrümmung recht klein ausfallen, so wird die Angabe des Krümmungsradius wohl nie um mehr als $^1/_2$ Millimeter von der Wahrheit abweichen.

Tabelle I.

Nr.	Vor Reizung.	Nach Reizung.		
	Entfernung der Marken in Theilstrichen.	Entfernung der Marken in Theilstrichen.	Krümmungsradius in Millim.	
1a.	87	86,5	3	Vergrösserung ungefähr 30fach. Ein Theilstrich = 0,0204 Mill.
1b.	87	87	3	
2a.	95	95,5	3	
2b.	95,5	95	2,5	
3a.	113,5	114,0	3	Vergrösserung ungefähr 40fach. Ein Theilstrich = 0,016 Mill.
3b.	113,5	113,5	4	
4.	108	108	2	
5.	115	114,5	2,5	
6.	116	116	2,5	

Die mit gleichen Nummern bezeichneten Messungen sind an demselben Gelenkwulst angestellt und zwar die mit b bezeichneten $^1/_2$ bis 1 Stunde später als die mit a bezeichneten, nachdem also die Reizung wieder völlig ausgeglichen war.

Durch vergleichende Messungen an nicht reizbaren Polstern, welche wiederholt völlig aus ihrer Lage gebracht und dann von Neuem eingestellt wurden, überzeugte ich mich, dass meine Ablesungen, sowohl bei der 30 als 40fachen Vergrösserung, höchstens um $^1/_2$ Theilstrich von dem Mittelwerth abwichen, also der Fehler einer Messung höchstens 0,0102, resp. 0,008 Mill. betragen kann. Wie die vorstehend mitgetheilte Tabelle zeigt, wurde der Querdurchmesser (die Breite der neutralen Fläche) vor der Reizung entweder ganz gleich gross, wie nach der Einkrümmung oder um $^1/_2$ Theilstrich grösser oder kleiner gefunden, d. h. der Querdurchmesser ändert sich nicht um eine messbare Grösse. Hierzu ist noch zu bemerken, dass ich kleinere Werthe als $^1/_2$ Theilstrich überhaupt nicht abzulesen suchte, wenn aber eine zweite Messung der Schätzung nach um etwa 0,2 Strich von der ersten Messung abwich, so wurde stets zu 0,5 abgerundet und zwar so, dass nun die erste Messung von der zweiten um $^1/_2$ Theilstrich abwich, mehr also, als es factisch der Fall war. Es gilt dieses auch für alle weiterhin mitzutheilenden Messungen.

Wie wir aus Früherem wissen, sind im geradegestreckten Polster die beiden Hälften von ziemlich gleicher Länge und beiderseitig

durch zur Längsachse senkrechte Flächen begrenzt. Beide durch die neutrale Fläche getrennte Wulsthälften sind Hälften von Cylindern und zwar gehört die untere Polsterhälfte einem meist nahezu kreisförmigen, die obere einem immer ein wenig elliptischen Cylinder an. Wenn sich nun bei der Krümmung das Volumen nicht ändert, so bleibt, die in der neutralen Ebene liegende Achse des Querschnittes unverändert, die in der Medianebene liegende Achse aber wird in der unteren Wulsthälfte sich verlängern (r zu $r_{,}$) (Fig. 3), in der oberen Wulsthälfte sich verkürzen (r' zu r''). Wir wollen nun für einen concreten Fall untersuchen, welche Verlängerung und Verkürzung hier zu Stande kommen muss.

Es liege ein Polster vor dessen obere und untere Hälfte im gerade gestreckten Zustand eine gleiche Länge von 4 Mill. besitzen. Der mit der neutralen Fläche zusammenfallende Querdurchmeser dieses Polsters sei 1;8 Mill., der hierzu senkrechte Dickendurchmesser ($r + r'$) (Fig. 3) betrage 1,7 Mill. und zwar soll die Höhe der unteren Wulsthälfte (r) 0,9, die der oberen Wulsthälfte (r') 0,8 Mill. betragen. Es entspricht dieses dem mittleren Dickenverhältniss des Parenchyms der beiden Polsterhälften, welches sich etwa wie 7 : 6 herausstellt, denn in dem supponirten Polster wird der entsprechende Durchmesser des Gefässbündels etwa 0,4 Mill. betragen, das Parenchym auf der Oberseite also 6, auf der Unterseite 7 Mill. messen. Wir nehmen an, das Polster krümme sich derart, dass der Krümmungsradius der neutralen Achse (m) (Fig. 2) (der Schnittlinie der neutralen Fläche und der Medianebene) 5 Mill. werde und können nun aus diesen Daten die vorhin gestellten Fragen über Zunahme und Abnahme der Dicke beantworten. Wie ich schon früher auseinandersetzte dürfen wir die neutrale Achse (m) vor und nach der Krümmung unverändert die Mitte des Gefässbündels einnehmen lassen.

Die in der Anmerkung[1]) mitgetheilten Rechnungen zeigen, dass in

---

1) Gegeben ist $l = m = 4$ Mill.; $r = 0{,}9$ Mill.; $r' = 0{,}8$ Mill.; $\rho = 5$ Mill. (Vgl. die Schemata. Fig. 1 und 2.)

Im geradegestreckten Polster ist der Rauminhalt

der oberen Cylinderhälfte $v' = \frac{1}{2} r . r' . \pi . l = 4{,}524$ Cub. Mill.

der unteren Cylinderhälfte $v_{,} = \frac{1}{2} r^2 . \pi . l = 5{,}089$ Cub. Mill.

Nach der Krümmung (Fig. 2) ist der Centriwinkel $w = \frac{180. \text{ m.}}{\rho . \pi .}$.

Nach der Voraussetzung bleibt bei der Krümmung der die beiden Polsterhälften trennende Hauptschnitt seiner Länge (m) und Fläche nach unverändert, ebenso das Volumen jeder Gelenkhälfte. Da die Querschnitte nach der Krümmung halbe Ellipsen sind, so ist die Fläche

unserem Falle die Dicke der unteren Wulsthälfte von 0,9 Mill. (r) (Fig. 3) zu 0,98 Mill. ($r_{,}$) wird, also um 0,08 Mill. zunimmt, während die Dicke der

---

der oberen halben Ellipse $E' = \frac{1}{2} r x' \pi$
der unteren halben Ellipse $E_{,} = \frac{1}{2} r x_{,} \pi$, wo x die unbekannte halbe Achse der Ellipse ist.

Nach der Guldin'schen Regel ist der Inhalt eines durch Rotation einer ebenen Fläche um eine in ihrer Ebene gelegene Achse gebildeten Körpers gleich dem Product aus dem Inhalt dieser Fläche und dem Wege, welchen ihr Schwerpunct bei der Drehung beschreibt.

Der Schwerpunct einer halben Ellipse liegt nun auf der durch den Medianschnitt halbirten Achse (x) und zwar in der Entfernung $e = \frac{4}{3}.\frac{x}{\pi}$ vom Mittelpunct der Ellipse. In unserem Falle liegt also

der Schwerpunct s' der oberen Ellipse um $e' = \frac{4}{3}.\frac{x'}{\pi}$ über,

der Schwerpunct $s_{,}$ der unteren Ellipse um $e_{,} = \frac{4}{3}.\frac{x_{,}}{\pi}$ unter der neutralen Achse m.

Der Weg von s' ist gegeben durch den Kreisbogen mit dem Radius $R' = (\rho + e') = 5 + \frac{4}{3}\frac{x'}{\pi} = 5 + 0{,}42441.x'$. Folglich ist die Länge des Weges

$$b' = \frac{R'.w.\pi}{180} = \frac{(5 + 0{,}42441.x')}{180}.\frac{180.4}{5.\pi}.\pi = 4 + 0{,}33953\,x'.$$

Der Weg von $s_{,}$ liegt auf dem Kreisbogen mit dem Radius $R_{,} = (\rho - e_{,}) = 5 - 0{,}42441.x_{,}$. Die Länge des Weges ist also

$$b_{,} = \frac{R_{,} w.\pi}{180} = 4 - 0{,}33953\,x_{,}.$$

Das Volumen der oberen Hälfte ist also

$$V' = E'.b' = \tfrac{1}{2} r.x'.\pi\,(4 + 0{,}33953.x').$$

Das Volumen der unteren Hälfte

$$V_{,} = E_{,}.b_{,} = \tfrac{1}{2} r.x_{,}.\pi\,(4 - 0{,}33953.x_{,})$$

Da der Rauminhalt jeder Hälfte sich bei der Krümmung nicht ändern soll, so ist also $V' = v'$ also:
$\frac{1}{2} r.x'.\pi\,(4 + 0{,}33953.x') = \frac{1}{2} r.r'.\pi.l$. Reducirt und für r' und l die Werthe eingeführt erhalten wir $4x' + 0{,}33953.x'^2 = 4.0{,}8$.

Da auch $V_{,} = v_{,}$ sein soll, so ergiebt sich für die untere Hälfte in gleicher Weise $4x_{,} - 0{,}33953.x_{,}^2 = 4.0{,}9$.

Aus diesen Gleichungen zweiten Grades ergiebt sich die unbekannte halbe Achse der beiden gekrümmten elliptischen Cylinder.

$$0{,}34.x'^2 + 4x' = 3{,}2$$

$$x' = \pm\frac{112{,}7}{17} - \frac{100}{17}$$

$$x' = +0{,}75$$

Die Verkürzung der mit dem Medianschnitt des Gelenkes zusammenfallenden halben Achse ist also in der oberen Wulsthälfte

$$0{,}8 - 0{,}75 = 0{,}05 \text{ Mill.}$$

$$0{,}34.x_{,}^2 - 4.x_{,} = -3{,}6$$

$$x_{,} = \pm\frac{83{,}35}{17} + \frac{100}{17}$$

$$x_{,} = \begin{cases} +10{,}78 \\ +\ 0{,}98 \end{cases}$$

Die Zunahme der variablen halben Achse in der unteren Polsterhälfte beträgt:

$$0{,}98 - 0{,}9 = 0{,}08 \text{ Mill.}$$

Ich schliesse hier gleich Berechnungen an, welche erst später Verwendung finden werden. Es fragt sich nämlich wie gross die Volumenzunahme des oberen

oberen Wulsthälfte von 0,8 Mill. (r') auf 0,75 Mill. (r'') sinkt, also um 0,05 Mill. sich verringert. Diese Zahlen gelten aber für den Fall, dass ein gerades Polster sich zu 5 Mill. Radius (für die neutrale Achse) einkrümmt[1], thatsächlich wird der fragliche Krümmungsradius aber bei sehr reizbaren Polstern fast immer kleiner, zu 3—4 Millimetern, die betreffenden Werthe über Verlängerung und Verkürzung werden also für ein Polster von den angenommenen Dimensionen noch etwas grösser ausfallen. Zu allen meinen später mitzutheilenden Messungen sind aber stets nur sehr reizbare Polster verwandt, deren Durchmesser den in der Rechnung angenommenen (1,8 Mill. breit und 1,7 Mill. dick) gleich kamen, ja sehr oft etwas beträchtlicher (bis zu 2 Mill.) und in nur sehr wenigen Fällen ein klein wenig geringer (1,6 Mill. dick) waren.

Da die Dicke der unteren Wulsthälfte unter den gemachten Voraussetzungen um 0,08 Mill. zunimmt, die der oberen Wulsthälfte sich aber um 0,05 Mill. verringert, so wird der Dickendurchmesser des ganzen Polsters bei der Einkrümmung zu 5 Mill. Radius nur eine Zunahme um 0,03 Mill. erfahren. Nun ist eine solche Grösse zwar mikrometrischer Messung schon zugänglich, welche die Distanz von festen, und genau auf demselben Querschnitt stehenden Puncten auf der Mittellinie der Oberseite und Unterseite zu bestimmen hätte, allein das Resultat solcher Messungen würde nicht durchaus vorwurfsfrei sein. Es gilt dieses auch für den Fall, dass die obere Polsterhälfte entfernt ist und nun die Entfernung zwischen den Marken auf dem frei gelegten Gefässbündel und der Mittellinie der Unterseite gemessen wird. Da sich hier ausserdem die Grösse der Einkrümmung des Polsters wesentlich vermindert, so wird die eventuelle Verdickung der unteren Wulsthälfte

---

und die Volumenabnahme des unteren Polsters für den Fall ist, dass der Querschnitt des geraden und des gekrümmten halben elliptischen Cylinders unverändert bleibt.

Der Schwerpunct der halben Ellipse liegt in der oberen Gelenkhälfte um $e' = \frac{4}{3} \cdot \frac{0,8}{\pi} = 0,339$ Mill. über der neutralen Achse, bewegt sich also auf einem Kreisbogen dessen Krümmungsradius (ρ') 5,339 Mill. ist.

Der Cubikinhalt des gekrümmten halben Cylinders ist

$$V' = \frac{\rho' . w . \pi}{180} \cdot \frac{r . r' . \pi}{2} = 4,831 \text{ Cub. Mill.}$$

Die Volumenzunahme des oberen Polsters beträgt also

$$4,831 - 4,524 = 0,307 \text{ Cub. Mill.}$$

In gleicher Weise findet man die Volumenabnahme des unteren Polsters ($r = 0,9$ Mill.) zu $5,089 - 4,701 = 0,388$ Cub. Mill.

1) Bei einer solchen Krümmung der 4 Mill. langen neutralen Achse ändert sich der Winkel den Blattstiel und Zweig miteinander bilden um beinahe 46° (45° 50″).

natürlich auch geringer ausfallen und ein besonderer Vortheil nicht gewonnen werden. Wenn ich nun auch Messungen nach den beiden eben angeführten Principien ausführte, so wende ich mich doch zuerst zu in anderer Weise ausgeführten und völlig vorwurfsfreien Messungen.

Eine Linie, welche die an einem Gelenkquerschnitt als Punct erscheinende Seitenlinie mit der Mitte der oberen oder unteren Polsterhälfte verbindet, ist, wie die schematische Fig. 3 zeigt, die Hypotenuse eines rechtwinkeligen Dreiecks, dessen beide Katheten in der Mitte des Gefässbündels zusammenstossen. Nun wissen wir, dass die die Flanke schneidende Kathete (r) bei der Reizkrümmung sich nicht ändert, die andere Kathete hingegen würde sich dabei ändern, wenn das Volumen der Polsterhälften dasselbe bleibt. (Vgl. Schema Fig. 3.) Wie wir bei der angestellten Berechnung unter den gemachten Voraussetzungen fanden, würde die mit dem Dickendurchmesser zusammenfallende veränderliche Kathete der unteren Polsterhälfte von 0,9 Mill. (r) zu der Länge von 0,98 Mill. ($r_{,}$) werden, die Längendifferenz zwischen den Hypotenusen vor der Krümmung ($c_{,}$) und nach der Krümmung ($\gamma_{,}$) ist also: $\sqrt{r^2 + r_{,}^2} - \sqrt{r^2 + r^2} = \gamma_{,} - c_{,} = 0{,}058$ Millimeter. — In der oberen Polsterhälfte nimmt hingegen die variable Achse von 0,8 Mill. (r') auf 0,75 Mill. (r'') ab und wird also hier der Unterschied zwischen den Hypotenusen vor (c') und nach (γ') der Krümmung sein: $\sqrt{r^2 + r'^2} - \sqrt{r^2 + r''^2} = c' - \gamma' = 0{,}033$ Millimeter.

Zur Entscheidung der Frage, ob sich die Länge der fraglichen Hypotenusen bei der Krümmung auf Reiz ändert, wurde eine grössere Anzahl von Messungen bei einer ungefähr 75 fachen Vergrösserung ausgeführt. Ein Theilstrich des durch Schraube beweglichen Ocularglasmikrometers entsprach hierbei 0,0113 Mill. und auch hier zeigten vergleichende Versuche, dass der Messungsfehler höchstens $^1/_2$ Theilstrich, d. h. 0,0056 Mill. beträgt. Wie uns die unter den bekannten Voraussetzungen gemachten Berechnungen zeigen, würde die Hypotenuse für die untere Polsterhälfte bei gleichbleibendem Volumen um 0,058 Mill. bei der Reizung sich verlängern müssen und wir bekämen dann bei der Messung eine Zunahme von etwas mehr als 5 Theilstrichen. Für die obere Wulsthälfte würde nach der Berechnung die Hypotenuse nach der Krümmung um 0,033 Mill. sich verkürzt haben, also müsste eine Abnahme von 3 Theilstrichen bei der mikrometrischen Messung gefunden werden. Es handelt sich, wie wir sehen, schon um recht ansehnliche und sicher messbare Grössen, die aber sehr gewöhnlich noch etwas ansehnlicher ausfallen müssten, als sie die Rechnung ergiebt,

weil, wie schon bemerkt wurde, die Krümmung des Polsters gewöhnlich eine bedeutendere und auch die Dicke der Gelenke häufig etwas grösser war, als bei unserer Berechnung angenommen wurde.

Nunmehr habe ich über die Ausführung der Messungen einiges mitzutheilen. Die grössere Zahl der Messungen sind mit Polstern angestellt, an denen die secundären Blattstiele entfernt waren und die an abgeschnittenen Zweigstücken sassen. Letztere waren dann in Korke geführt und ragten in das in kleinen Gläsern enthaltene Wasser. Die Messungen wurden hier bei vertical stehendem Tubus des Mikroskopes vorgenommen. Andere Messungen sind aber mit durchaus unverletzten Topfpflanzen ausgeführt. In diesem Falle wurden die Zweige nur in etwas schräger Lage festgehalten, der Tubus des Mikroskopes aber bei Messungen auf der Unterseite des Polsters in entsprechender Weise schief aufwärts gerichtet. In allen Fällen machte ich kleine Puncte mit schwarzem Spirituslack, die möglichst genau auf der Seitenlinie und auf der Mittellinie von Ober- oder Unterseite angebracht wurden und zwar stets so, dass sie auf denselben Querschnitt zu stehen kamen. An den Marken musste dann irgend ein geeigneter Punct, sei es eine Ecke, eine hervorragende Spitze u. s. w., zum Zwecke der Messung ausgewählt werden.

Wenn nun auch diese Marken nicht immer absolut genau auf der Seitenlinie oder auf der Mittellinie der Unterseite stehen mochten, so war doch deren fehlerhafte Einstellung jedenfalls immer nur gering. Die Seitenlinie ist an vertical aufrecht gewachsenen Zweigen, von denen ausschliesslich Polster zu Messungszwecken entnommen wurden, der Lage nach ziemlich genau gegeben und ausserdem auch häufig durch die etwas andere Färbung der oberen und unteren Wulsthälfte ziemlich gut bestimmt. Da die Bewegungsebene der Polster bei unserer Art der Messung schief gegen die Achse des Mikroskopes gerichtet ist, so begreift man leicht, wie die beiden Marken nach geschehener Reizbewegung sehr häufig nicht mehr ganz genau in der Gesichtsfeldebene lagen. Da es mir aber darauf ankam gleich nach der Reizung messen zu können, so wurde immer durch einen vorläufigen Versuch festgestellt, um wie viel eventuell Seitenlinie oder Mittellinie gehoben werden mussten, damit nach Reizung die Marken wieder genau in der Gesichtsfeldebene standen. Bei den abgeschnittenen Zweigstückchen waren die Gläschen durch geeignete Klemmvorrichtungen auf Glasplatten festgehalten und durch Einschiebung von Keilen unter diese geschah die etwa nöthige Hebung oder Senkung. Indem an diesen Keilen geeignete Marken angebracht wurden, war es möglich, schon vor der

Reizung die nöthige, übrigens immer nur geringe Lagenveränderung vorzunehmen. Das Gleiche erreichte ich bei Verwendung noch an Topfpflanzen sitzender Polster dadurch, dass die Zweige durch um ihre eigene Achse drehbare Klammern gehalten wurden. An diesen war ein Zeiger angebracht, welcher an einem Gradbogen die etwa nöthige geringe Drehung im voraus zu bestimmen erlaubte. Unter Zuhülfenahme dieser und anderer kleiner Vorsichtsmassregeln, welche ein gewandter Arbeiter sich ohnedies schnell ausbilden wird, war es mir nach gehöriger Uebung möglich, die Messungen so schnell vorzunehmen, dass zwischen dem Augenblick der Reizung und Beendigung der Ablesung wiederholt nur 5—8 Secunden, nie aber mehr als 15—20 Secunden verstrichen.

Wenn man bei einer 75fachen Vergrösserung darauf achtet, dass beide Messungsmarken jedesmal gleichzeitig durchaus genau einstehen, so ist die mögliche Höhendifferenz zwischen den beiden Puncten eine so geringe, dass aus ihr eine in der Länge der gemessenen Linie sich bemerklich machende Fehlerquelle nicht entspringen kann. Ich habe mich zwar durch Versuche noch speciell hiervon überzeugt, unterlasse jedoch darauf einzugehen, weil ein Jeder sich leicht selbst von der Richtigkeit des Gesagten überzeugen kann.

Zunächst theile ich hier die Resultate mit, welche bei Messungen zwischen Seitenlinie und Mittellinie der Unterseite erhalten wurden. Die Polster waren in allen Fällen vor der Reizung völlig oder annähernd gerade, der Krümmungsradius nach der Reizung wurde in der schon früher angegebenen Weise bestimmt und bezieht sich auf die Mittellinie der Unterseite, der Krümmungsradius der neutralen Achse ist also höchstens um 1 Mill. grösser.

Tabelle II.

Nr.	Vor Reiz	Nach Reiz	
	Entfernung der Marken in Theilstrichen	Entfernung der Marken in Theilstrichen	Krümmungsradius
1a	112	111,5	2 Mill.
1b	111,5	111,5	2 »
2	109	110	2,5 »
3a	116	117	3 »
3b	116,5	117	3,5 »
4	107	107	2 »
5	110,5	111	2,5 »
6a	113	113	2,5 »
6b	113	113,5	3 »
7	118	119	2,5 »
8	109	108,5	2 »

Bei den Messungen der Hypotenuse zwischen Mittellinie der Oberseite und der Seitenlinie wurden folgende Resultate erhalten:

Tabelle III.

Nr.	Vor Reiz	Nach Reiz	
	Entfernung der Marken in Theilstrichen	Entfernung der Marken in Theilstrichen	Krümmungsradius
1	109	108	2,5 Mill.
2a	105	104,5	3 »
2b	105	104	2 »
3a	110	109	3 »
3b	110,5	109	3 »
4	108	108	2,5 »
5a	111	110	2,5 »
5b	111	109,5	2,5 »
6	101,5	101,5	3 »
7	104,5	104	2 »
8	107	106	3 »

Die Versuche Nr. 1—5 sind in Tab. II und III mit abgeschnittenen Zweigen, die Experimente Nr. 6—8 mit Topfpflanzen ausgeführt. Die mit a und b bezeichneten Messungen sind mit denselben Objecten angestellt.

Wir sehen aus Tabelle 2, dass die zwischen Seitenlinie und Mitte der Unterseite gemessene Hypotenuse in zwei Fällen nach der Reizbewegung um $^1/_2$ Theilstrich verkleinert gefunden wurde, in anderen Fällen bei beiden Messungen sich als gleich herausstellte oder höchstens um 1 Theilstrich des Mikrometers nach der Einkrümmung des Polsters gewachsen war. Da diese letztere Zunahme nie überschritten wurde, so wird sie jedenfalls das Maximum der wirklich vorkommenden Längenzunahme der Hypotenuse bezeichnen. Diese müsste aber nach der angestellten Rechnung bei unserer Messung um etwas mehr als 5 Theilstriche bei der Krümmung wachsen, wenn das Volumen der unteren Wulsthälfte dabei das gleiche bliebe. Thatsächlich würde aber die Längenzunahme der Hypotenuse bei ansehnlicher Reizkrümmung, wie ich schon anführte, noch etwas erheblicher sein müssen.

Wir können also zunächst mit positiver Gewissheit sagen, dass das Volumen des unteren Gelenkwulstes sich bei der Reizung wesentlich verringert. Es ist möglich, dass eine solche Dickenzunahme, wie sie aus der Verlängerung der Hypotenuse um einen Theilstrich berechnet werden kann, die Volumenänderung der unteren Wulsthälfte nicht ganz richtig ergiebt Man sieht nämlich, worauf ich später nochmals zurückkomme, an dem gerade gestreckten Polster, sowohl auf der oberen, als unteren Seite einige sehr seichte Querfurchen verlaufen, die sich aber auf der Unterseite ein klein wenig mehr

vertiefen, wenn eine Reizkrümmung erfolgt. Da nun meine Messungsmarken stets nur auf der Höhe oder an den Böschungen der zwischen den Furchen liegenden äusserst sanft gewölbten Hügel lagen, so sieht man leicht ein, wie eine für einen solchen Punct gefundene Verdickung bei Berechnung des Rauminhaltes der Wulsthälfte ein etwas zu grosses Resultat geben muss. Aus der Tabelle 3 ergiebt sich, dass die nach der Mittellinie der oberen Wulsthälfte gemessene Hypotenuse bei der Reizung sich niemals vergrösserte; entweder waren beide Messungen übereinstimmend oder die nach der Krümmung angestellte zeigte eine Längenabnahme der Hypotenuse um höchstens 1,5 Theilstrich. Dürfen wir hiernach nun auch mit Sicherheit schliessen, dass die Dicke der oberen Wulsthälfte sich um etwas verringert, so zeigt uns doch unsere angestellte Rechnung, dass die Abnahme der Dicke jedenfalls wesentlich geringer ist, als sie sein müsste, wenn das Volumen dieser Polsterhälfte sich nicht verändert hätte. Denn unter den zu niedere Resultate gebenden Voraussetzungen, berechneten wir eine Längenabnahme der Hypotenuse, welche drei Theilstrichen unseres Mikrometers entsprechen würde.

Es soll hier gleich erwähnt werden, dass ich auch die Entfernung zweier Puncte mass, welche auf demselben Querschnitt lagen, der eine in der Seitenlinie, der andere aber annähernd in der Mitte zwischen dieser und der Mittellinie der Ober- oder Unterseite. Wenn auf letzterer gemessen wurde, so erhielt ich ähnliche Resultate, wie sie vorhin für die Messung zwischen Mittellinie der Unterseite und der Seitenlinie mitgetheilt wurden. Das gleiche gilt auch für die auf der Oberseite vorgenommenen Messungen, welche aber der Erwartung gemäss durchschnittlich eine geringere Längenabnahme der markirten Strecke ergaben, als wir sie bei Messungen zwischen Seitenlinie und Mittellinie fanden. Ich führte diese Messungen aus, um der freilich mehr als unwahrscheinlichen Vorstellung zu begegnen, dass Zunahme oder Abnahme der Dicke in einer zwischen Mittellinie und Seitenlinie liegenden Zone in geförderter Weise stattfinde, unterlasse es aber die Messungsresultate ausführlich mitzutheilen.

Wie die vorhin mitgetheilten Messungen zeigen, ist die Dickenabnahme der oberen Polsterhälfte durchschnittlich um ein klein wenig bedeutender als die Dickenzunahme der unteren Polsterhälfte, das ganze Polster wird also bei der Krümmung in Folge von Reiz etwas an Dicke abnehmen. Des Durchmessers der Polster halber konnte ich bei 75-facher Vergrösserung Messungen über die Gesammtdicke des Polsters nicht vornehmen. Solche Messungen aber, welche ich bei ungefähr

40facher Vergrösserung anstellte entsprechen durchaus dem nach den bekannten Resultaten zu Erwartenden. Es wurden nämlich bei einer Anzahl Versuche Zunahmen nur um $^1/_2$ Theilstrich, Abnahmen bis zu einem Theilstrich gefunden. Auch hier unterlasse ich es die Messungen speciell mitzutheilen.

Auch an Polstern deren obere Hälfte entfernt war, wurde eine Anzahl von Messungen vorgenommen, indem hier die Entfernung zwischen einem Puncte auf dem hervorspringenden frei gelegten Gefässbündel und einem anderen Puncte auf der Mittellinie der unteren Gelenkwulsthälfte bestimmt wurde. Zu dem Versuche dienten immer Topfpflanzen an denen die Operation 6 bis 12 Stunden zuvor vorgenommen war und zwar wurde mit horizontal gestelltem Tubus bei etwa 35facher Vergrösserung (1 Strich = 0,0113 Millim.) gemessen. Wenn nun hierbei auch die eventuelle wirkliche Dickenzunahme der Polsterhälfte erkannt wird, so ist doch zu bedenken, dass diese wesentlich geringer ausfallen muss, als unsere vorhinnige Rechnung zeigt, weil an den operirten Polstern die Grösse der Reizbewegung sehr verringert und kaum jemals bedeutender ist, als der Einkrümmung eines gerade gestreckten Polsters zu einem Radius von 10 Mill. entspricht[1]. Die erhaltenen Resultate stimmen übrigens mit den anderweitig gewonnenen überein; es wurde nämlich vor und nach der Reizbewegung eine gleiche Anzahl von Theilstrichen abgelesen oder eine Vermehrung um $^1/_2$, ganz vereinzelt um 1 Theilstrich gefunden, während eine Verminderung um $^1/_2$ Theilstrich nur selten beobachtet wurde.

Die Messungsresultate geben uns nur die Gewissheit, dass jedenfalls eine Volumenänderung der beiden Wulsthälften sowohl, als des ganzen Polsters vor sich geht, sie erlauben indess zunächst keinen sicheren Schluss, ob die Abnahme des Rauminhaltes der unteren Polsterhälfte durch Wasseraustritt aus den Zellen bedingt ist. Denn es wäre denkbar, dass die Abnahme des Volumens durch Auspressung von Flüssigkeit aus den Intercellularräumen geschehe oder etwa durch, in Folge der Reizung eintretende chemische Bindung von Wasser oder auch durch Austreibung gasförmiger Massen, wie sie ja in gewissen Intercellularräumen existiren. Unter diesen Umständen wird für uns ein Experiment bedeutungsvoll, welches einen bei der Reizbewegung stattfindenden Austritt von Flüssigkeit aus den Gelenkwülsten constatirt.

Wenn man an in gehöriger Turgescenz befindlichen Topfpflanzen

1) Bei einer Länge der neutralen Achse von 4 Mill. verändert sich in Folge einer solchen Krümmung der Winkel, welchen Blattstiel und Zweig bilden um nahezu 23 Grad.

oder auch an in Wasser stehenden Zweigen einen Gelenkwulst dicht am Blattstiel quer durchschneidet, so ist die Reizbarkeit anfangs erloschen, kehrt indess nach einiger Zeit wieder, um sich dann eine kürzere Zeit oder auch bis zu 12 Stunden zu erhalten. Die Grösse der Reizbewegung ist allerdings dann vermindert, aber immerhin noch recht beträchtlich und kann selbst der Einkrümmung eines gerade gestreckten Polsters bis zu einem Radius von 5 Mill. entsprechen, wobei übrigens immer vorausgesetzt ist, dass die Objekte nach der Operation in stark feuchter Atmosphäre gehalten wurden. Reizt man nun ein derartiges Polster, so sieht man auf der Schnittfläche je nach der Grösse der erfolgten Bewegung ein kleineres oder grösseres Quantum von Flüssigkeit erscheinen, welche bei der allmäligen Ausgleichung der erfolgten Krümmung wieder aufgesogen wird, wenn man durch Einbringen in einem dampfgesättigten Raum die Verdampfung verhindert.

Eine nähere Beobachtung zeigt nun leicht, dass diese Flüssigkeit aus dem Parenchym hervorkommt und namentlich aus mehr nach Innen zu gelegenen Partien. Aus den Parenchymschichten mit lufterfüllten Intercellularräumen, welche einige Mantellagen zunächst um das Gefässbündel bilden, und durch ihre hellere Farbe schon mit freien Augen oder bei schwacher Vergrösserung leicht kenntlich sind, tritt keine oder in seltenen Fällen eine äusserst geringe Menge Flüssigkeit hervor. Die unmittelbar angrenzenden Parenchymschichten sind es aber, aus welchen die Flüssigkeit am reichlichsten hervorschiesst. Ist die Menge dieser bei schwächerer Reizbewegung überhaupt gering, so ist nicht selten zu beobachten, dass allein aus der fraglichen Parenchymzone der unteren Wulsthälfte etwas Flüssigkeit hervorquillt. Bei ansehnlicherem Austritt von Flüssigkeit erscheint diese auch gewöhnlich auf der correspondirenden Parenchymschicht der oberen Gelenkhälfte, doch lässt sich dann zuweilen mit Sicherheit wahrnehmen, dass sie hier einen Moment später, als aus der unteren Wulsthälfte hervorkommt. Die Flüssigkeit, welche dann einen Ringwall um das luftführende Parenchym bildet, kommt indess auch aus mehr nach Aussen zu liegenden Parenchymschichten, doch immer nur in geringer Menge in Form von vereinzelten Tröpfchen zum Vorschein, nur auf den zunächst unter der Epidermis liegenden Parenchymlagen habe ich niemals Flüssigkeit erscheinen gesehen. Bei ansehnlicher Einkrümmung des Polsters kann man auch zuweilen deutlich wahrnehmen, dass die den Holzkern des Gefässbündels umgebenden Bastschichten etwas feucht werden, ein eigentliches Hervorquellen von Tröpfchen habe ich aber niemals constatirt.

Man trifft freilich dann und wann unmittelbar nach einer kräftigen Reizkrümmung die Fläche des Gefässbündels, sowie die umgebenden Parenchymlagen mit einer dünnen Flüssigkeitsschicht bedeckt, allein dieses rührt, wie man bei sorgfältiger Beobachtung sehen kann, daher, dass die Flüssigkeit, welche aus den das luftführende Parenchym umgebenden Lagen hervorquillt, sich seitlich über letzteres und das Gefässbündel verbreitete. Es sei hier beiläufig bemerkt, dass beim Austrocknen der austretenden Flüssigkeit auf dem Objectträger Kryställchen anschiessen, deren Natur ich indess noch nicht festzustellen versuchte [1].

In der hervorquellenden Flüssigkeit beobachtet man wohl sehr winzige Luftblasen, von denen es aber dahin gestellt bleiben muss, ob sie aus dem Gelenkwulst stammen, oder auf die der Schnittfläche adhärirende Luft zurückzuführen sind. Das Hervortreten grösserer Gasbläschen aus dem luftführenden Parenchym war auch dann nicht mit Sicherheit zu constatiren, wenn ich die durchschnittenen Polster vorsichtig in Wasser tauchte und nun erst reizte. Indess könnte hier capillare Verstopfung der Intercellularräume durch das Wasser den Austritt von Gas verhindern. Wenn nach dem Untertauchen das luftführende Parenchym mit einer adhärirenden Luftschicht bedeckt war, so schien es allerdings öfters bei Reizung, als ob dieselbe ein wenig an Volumen zugenommen habe, allein es ist hierbei begreiflicherweise sehr leicht Täuschung möglich und will ich deshalb der vermeintlichen Beobachtung durchaus kein Gewicht beilegen.

An den dicht am Blattstiel durchschnittenen Polstern wurden auch Messungen zwischen Puncten der Seitenlinie und der Mittellinie der Oberseite oder Unterseite in der früher beschriebenen Weise ausgeführt. Die gewonnenen Resultate, welche ich nicht namentlich anführen will, stimmen mit den Erfahrungen an unverletzten Polstern überein und wenn die Veränderungen der Dicke der oberen und unteren Wulsthälfte eher ein wenig geringer zu sein scheinen, als an unverletzten Polstern, so ist dieses nur ein Beweis für das völlig übereinstimmende Verhalten beider, weil ja in Folge der Operation die Grösse der Reizbewegung sich verminderte. Gestützt auf diese Uebereinstimmung ist aber erwiesen, dass bei der Reizkrümmung aus den unverletzten Polstern, so gut wie aus durchschnittenen, Flüssigkeit austritt;

1) Diese können aber allein aus der in den Intercellularräumen enthaltenen Flüssigkeit stammen. Jedenfalls ist darin kein Grund dafür zu suchen, dass aus dem Zelllumen mit dem Wasser auch andere Stoffe abgegeben werden.

ob auch Luft, dafür liefern unsere bisherigen Experimente keine sicheren Anhaltspuncte.

Aus dem Obigen folgt nur das Austreten von Flüssigkeit aus dem Polster, ob diese aus den Zelllumina oder den Zellwänden, oder gar nur aus den verengt werdenden Intercellularräumen stammt, das haben wir noch zu untersuchen. Ich bemerke hier vorgreifend, dass bei den Staubfäden der Cynareen der Beweis für Wasseraustritt aus dem Innern der Zelle mit vollkommener Sicherheit zu führen ist, den auch die Erwägungen bei Mimosa, wie wir nun sehen werden, fordern.

Was zunächst die Möglichkeit der Abstammung der Flüssigkeit allein aus den Intercellularräumen betrifft, so haben wir uns zu erinnern, dass die mit Flüssigkeit erfüllten Zwischenräume der Zellen immer nur klein sind. Selbst zwischen den die luftführenden Parenchymschichten zunächst umgebenden Zellen sind die Intercellularen schwerlich grösser, als die Hohlräume, welche Kugeln bei günstigster Lagerung zwischen sich lassen, nach Aussen zu werden aber die Zwischenzellräume allmälig sehr viel kleiner. Wenn sich die Intercellularräume ohne Verminderung der Flüssigkeitsmenge im Inneren der Zelle, zwischen den in völlig festem Verband untereinander stehenden Zellen verengen sollten, so wäre dieses unter den obwaltenden Verhältnissen nur dadurch denkbar, dass die Membranen erschlafften und in Folge der durch den Antagonismus des oberen Wulstes ausgeübten Pressung die Zellwände sich in die Zwischenräume ausbauchten. Es kann nun aber auch dann noch Wasseraustritt an dem durchschnittenen Polster beobachtet werden, wenn die obere Wulsthälfte entfernt ist. Natürlich ist jetzt mit der ansehnlichen Verminderung der Reizbewegung die Menge der austretenden Flüssigkeit sehr verringert, auch ist zu bemerken, dass dieselbe nicht allein auf dem Querschnitt erscheint, sondern auch auf den Schnittflächen, durch welche das Parenchym der oberen Wulsthälfte entfernt wurde. Bei diesem Versuche ist eine Zusammenpressung durch das sich expandirende obere Polster ausgeschlossen, die durch die negative Spannung der Epidermis ausgeübte Compression ist aber sehr unbedeutend, da nur eine sehr schwache Spannung zwischen Epidermis und Parenchym existirt[1]. Unter diesen Verhältnissen war also die Möglichkeit der Verengerung der Intercellularräume in Folge einer durch Compression veranlassten Ausbauchung der Zellen fast völlig aufgehoben, während der Austritt von Flüssigkeit fortdauerte.

---

1) Sachs, Experimentalphysiologie p. 480.

Ein sicherer Beweis für Eintritt von Flüssigkeit in die Intercellularräume lässt sich auf die zuerst von Lindsay[1]) gemachte Beobachtung bauen, dass die untere Wulsthälfte bei der Reizbewegung eine dunklere Färbung annimmt. Dieser Autor meint freilich, dass die durch die Verkürzung der Gelenkhälfte veranlasste Annäherung der Chlorophyllkörner die Farbenänderung verursache, eine Annahme, gegen die auch Brücke[2]) keine Argumente beibringt, wenn er auch dafür hält, dass das Dunklerwerden des Polsters durch Ersatz von in den Intercellularräumen enthaltener Luft durch Flüssigkeit zu Stande komme, in Folge dessen weniger Licht aus dem Innern des Polsters reflectirt werde. Für die Richtigkeit dieser Auffassung lässt sich anführen, dass, wie schon Lindsay beobachtete, die bei der Reizbewegung sich expandirende obere Polsterhälfte ihre Farbe nicht ändert. Vollkommen entscheidend wird aber der Versuch, wenn man durch geeignete Vorrichtungen eine Senkung des Blattstieles völlig verhindert, indem auch dann die untere Wulsthälfte bei der Berührung plötzlich eine gleiche dunklere Färbung annimmt, als wenn das gereizte Polster sich einkrümmen kann.

Eine Möglichkeit haben wir freilich noch ins Auge zu fassen, dass nämlich die Chlorophyllkörner in Folge des Reizes ihre Lagerung innerhalb der Zellen modificiren könnten, wie wir ja eine veränderte Stellung derselben bei Tag und Nacht für viele Fälle kennen. Einmal ist hier zu bemerken, dass die Farbenänderung des Polsters von Mimosa in Folge des Reizes eine durchaus ähnliche ist, als wenn bei grünen Pflanzengeweben lufterfüllte Intercellularräume mit Wasser injicirt werden und keineswegs mit jener Nüancirung übereinstimmt, welche in Folge der Wanderung von Chlorophyllkörnern von den Aussenwänden zu den Seitenwänden der Zellen zu Stande kommt. Weiter ist anzuführen, dass die gleiche Farbenänderung auch an solchen Mimosen zu Stande kommt, welche sich schon 12 bis 24 Stunden im Dunklen befinden, bei denen also die Chlorophyllkörner wahrscheinlicherweise eine andere Lagerung als bei am Licht stehenden Pflanzen besitzen. Endlich lässt sich aber direct zeigen, dass die Chlorophyllkörner nach der Reizung keine merkliche andere Lagerung als zuvor besitzen.

Bei andauerndem Reize erheben sich, wie wir später erfahren werden, die Blattstiele von Mimosa, ohne dass jetzt die Polster auf

---

1) Burnett u. Mayo in Quaterly Journal of sc., lit. and art 1827. Bd. 24. p. 81.

2) Müller's Archiv 1848. p. 443.

Reiz irgendwie reagiren. Dabei kann man nun wahrnehmen, wie nach der Erhebung des Blattstieles die Farbe des unteren Wulstes wieder eine hellere geworden ist und, soweit es sich durch Vergleichung beurtheilen lässt, mit der Färbung übereinstimmt, welche dasselbe Polster vor der Reizung besass. Fertigt man nun aus einem solchen mehr oder weniger gerade gestreckten unempfindlichen Polster Schnitte an, so lässt sich an diesen keine andere Lagerung der Chlorophyllkörner erkennen, als an Schnitten, die eben gereizten Gelenken entnommen und gleichfalls sofort zur Beobachtung verwandt wurden.

In dem Mitgetheilten liegt aber der Beweis, dass eine Lagenänderung der Chlorophyllkörner jedenfalls die Ursache der Farbenänderung nicht sein kann. Wenn wir nun weiter bedenken, dass bei verhinderter Krümmung des Gelenkes dennoch auf Reiz die gleiche Farbenänderung vor sich geht, so sehen wir ein, dass dieselbe nur auf Ersatz von in den Zwischenzellräumen enthaltener Luft durch Flüssigkeit beruhen kann.

Bei Untersuchung von Schnitten aus solchen Polstern, die bei andauerndem Reiz ihre Krümmung ausgeglichen hatten, aber unempfindlich geworden waren, wurden nur die Intercellularräume einer variablen Anzahl von das Gefässbündel zunächst umgebenden Parenchymschichten mit Luft, alle weiter nach Aussen liegenden mit Flüssigkeit erfüllt gefunden. Hierin herrscht also Uebereinstimmung mit dem Befund an Schnitten, die eben gereizten Polstern entnommen sind. Da aber die Anzahl der luftführenden Parenchymschichten, auch bei verschiedenen Polstern derselben Pflanze, in ziemlich weiten Grenzen variirt — ich fand 3 bis 8 Schichten —, so bleibt nur übrig, dass im ungereizten Polster die Intercellularen zwischen ein oder einigen weiter nach Aussen liegenden Zelllagen luftführend sind und sich bei der Reizung mit Flüssigkeit füllen. Dieses wird auf die Farbenänderung des Polsters deshalb ansehnlich influiren, weil gerade diese inneren Parenchymschichten wesentlich reicher an Chlorophyll, als die äusseren sind. Die Grösse der Farbenveränderung ist an verschiedenen Polstern ungleich und augenscheinlich um so ansehnlicher, einen je helleren Ton die reizbare Gelenkhälfte besass. Hieraus ist zu entnehmen, dass Ersatz von Luft durch Flüssigkeit bei verschiedenen Objecten in ungleichem Maasse stattfindet.

Demnach würde die Ansicht Brücke's [1]), dass alle Intercellular-

1) Müller's Archiv 1848. p. 443 u. Sitzgsb. d. Wiener Akad. 1864. Bd. 50. II. p. 203.

räume zuvor luftführend seien und bei der Reizung sich mit Flüssigkeit füllen, dahin zu modificiren sein, dass eine Verdrängung von Gas durch Flüssigkeit nur in den Intercellularen einer oder einiger Parenchymzonen stattfindet, welche als Mantellagen die auch nach der Reizung luftführenden Parenchymschichten umgeben. Diese Schlussfolgerung basirt auf der Voraussetzung, dass das Polster, welches bei andauernder Reizung unter Einbusse der Reizbarkeit in seine frühere Lage zurückging, die gleiche Färbung wie zuvor wieder annahm. Jedenfalls wird das seine Krümmung ausgleichende Polster wieder heller und so weit sich die Sache, unter Zuhülfenahme des Vergleiches mit möglichst gleich gefärbten und ungereizt bleibenden Polstern beurtheilen liess, nimmt das in seine ursprüngliche Lage zurückgekehrte, nun aber unempfindliche Polster auch die gleiche Färbung an, die es vor der Senkung in Folge eines Reizes besitzt. Freilich ist dabei die Erkennung einer sehr leichten Farbenverschiedenheit unmöglich; soviel lässt sich indess mit Sicherheit sagen, dass, wenn alle Intercellularräume im Parenchym des reizbaren Gelenkes sich mit Luft füllen würden, die resultirende Färbung jedenfalls in nicht zu übersehender Weise differiren würde. Deshalb ist es nicht möglich, dass an dem reizempfänglichen Polster alle Intercellularräume mit Luft erfüllt sind, wenn auch die Möglichkeit nicht abzustreiten ist, dass in dem empfindlichen Zustand eine geringe Anzahl von Intercellularräumen luftführend ist, welche in dem zur früheren Gestalt zurückgekehrten, aber unempfindlichen Polster Flüssigkeit als Inhalt führen.

Die Farbenänderung der unteren Wulsthälfte zeigt aber auch, wie rapid Wasser von den Zellen abgegeben wird. Verhindert man, um genau beobachten zu können, die Krümmung des Polsters, so verbreitet sich die dunklere Färbung bei einer Berührung momentan über die ganze Wulsthälfte. Wählt man hingegen durch Temperaturerniedrigung weniger empfindlich gewordene Objecte, so kann man sehen, wie die Farbenänderung vom Berührungspuncte aus nach allen Seiten mit ungeheurer Schnelligkeit fortschiesst. Auch der Flüssigkeitsaustritt an in früher beschriebener Weise quer durchschnittenen Polstern zeigt, wie schnell Flüssigkeit von den Zellen abgegeben wird, indem gleichzeitig mit dem Reize das Hervordringen von Flüssigkeit beginnt. Endlich habe ich noch daran zu erinnern, dass bei Messungen, die 5 bis 8 Secunden nach dem Reiz beendigt waren, ein gleiches Resultat erhalten wurde, als bei einer ein wenig später an demselben Polster angestellten Messung. Alle diese Versuche liefern uns unwiderlegliche Beweise, dass die Wasserabgabe der Zellen im Momente der Reizung

beginnt und in ungemein kurzer Frist vollendet ist. Jedenfalls ist also diese Wasserabgabe keine secundäre, allmälig eintretende Erscheinung, worauf wir indess erst später näher eingehen werden.

Eine für die Auffassung der Reizbewegungen folgewichtige Entdeckung war der von Brücke[1]) gelieferte Nachweis, dass in Folge der Reizung die Biegungsfestigkeit (Steifheit) des Gelenkes sich vermindert. Unser Autor zeigte dieses durch ein sehr einfaches und nunmehr allbekanntes Experiment. Es wurde nämlich der an einem Gradbogen spielende Blattstiel sowohl bei aufwärts, als abwärts gerichteter Stellung der Pflanze jedesmal horizontal gerichtet und der Winkel bestimmt, welchen die beiden Lagen des Blattstieles miteinander bildeten[2]). Dieser Winkel wurde nach der Reizung zwei- bis dreimal so gross als zuvor gefunden. Ferner zeigte Brücke, indem er die obere oder untere Wulsthälfte entfernte, dass nur die untere Polsterhälfte für Reiz empfänglich ist, die Ursache der Erschlaffung also auch allein in dieser liege.

Ob nun die Ursache dieser Erschlaffung in den Membranen liege oder auf Austritt von Flüssigkeit beruhe, darüber gehen die Ansichten der Autoren, wie aus der historischen Einleitung zu sehen ist, auseinander. Ich werde erst später, wenn ich auch meine Untersuchungen an den Staubfäden der Cynareen dargelegt habe, auf die bezüglichen Fragen näher eingehen und will mich hier auf einige kurze Bemerkungen beschränken. Nachdem ich im Vorhergehenden den Nachweis geliefert habe, dass die Zellen bei der Reizung Wasser abgeben, wird jetzt wohl schon Niemand mehr zweifeln, dass die Flüssigkeit, sicher wenigstens theilweise, aus dem Zelllumen stammt, da die Membranen des unteren Schwellpolsters sehr zart sind und an Schnitten aus gereizten, sowie aus chloroformirten gerade gestreckten Polster von gleicher Zartheit erscheinen. Hofmeister[3]) selbst, welcher bekanntlich die Reizbarkeit in die Membranen verlegt, nimmt hier Wasseraustritt aus den Zellen an. Sobald ein solcher aber stattfindet, sinkt der hydrostatische Druck und damit nothwendig die Steifheit der Zelle[4]), vorausgesetzt, dass nicht in der Membran Veränderungen vor sich gehen, welche compensirend wirken. Da nun bei Mimosa factisch bei der Reizung Erschlaffung eintritt, so ist es auch gewiss, dass der

1) Müller's Archiv 1848. p. 440.
2) Siehe z. B. Sachs, Expermtphys. p. 486.
3) Pflanzenzelle p. 304.
4) Vergl. Nägeli und Schwendener, Mikroskop 1867. p. 411.

sinkende Zellenturgor[1]) jedenfalls dabei mitbetheiligt ist, ob auch die Membranen gleichzeitig eine Verminderung der Biegungsfestigkeit erfahren, darüber geben die bis dahin mitgetheilten Versuche keinen Aufschluss. Es sei aber hier vorgreifend bemerkt, dass Brücke's Annahme, die Steifheit beruhe auf Abnahme des Turgors der Zellen, die richtige ist.

Wir wollen nun untersuchen, wohin sich die bei der Reizbewegung aus dem unteren Gelenkwulst austretende Flüssigkeit bewegt. Nach dem früher Mitgetheilten steht jedenfalls fest, dass Flüssigkeit aus dem Gelenkwulst austritt. Es wird dieses bewiesen durch den sichtbaren Wasseraustritt an Polstern, die am Blattstiel quer durchschnitten sind und die Messungen an diesen Gelenken, welche zeigen, dass die Veränderungen in der Dicke der oberen und unteren Wulsthälfte ganz die gleichen sind, wie an unverletzten Polstern. Damit ist nun freilich nicht gesagt, dass sämmtliche von den Zellen abgegebene Flüssigkeit aus dem Gelenkwulst austritt und die nächste Frage, welche wir behandeln wollen, ist, ob die nicht reizbare Polsterhälfte bei der Reizkrümmung einen Theil der von der reizbaren Wulsthälfte abgegebenen Flüssigkeit in sich aufnimmt.

Betrachten wir aber zunächst einmal, wie sich die Abnahme oder Zunahme des Volumens für untere oder obere Wulsthälfte dann gestaltet, wenn sich ein gerades Polster von den Dimensionen, welche wir unserer früheren Rechnung zu Grunde legten, auch in damals angenommener Weise krümmt, nämlich zu einem Radius von 5 Mill. für die neutrale Achse, ohne dass der Querschnitt von oberer oder unterer Polsterhälfte eine Aenderung erfährt. Bei dem angenommenen Polster war die untere Wulsthälfte ein halbirter kreisförmiger Cylinder, dessen Halbmesser 0,9 Mill. maass, die obere Wulsthälfte aber ein elliptischer Cylinder, dessen halbe grosse Achse gleichfalls 0,9 Mill., dessen halbe kleine Achse 0,8 Mill. betrug; die Länge des gerade gestreckten Polsters war 4 Mill. Wenn nun bei der supponirten Einkrümmung die Achsen des Querschnittes unverändert bleiben, so vermindert sich der Rauminhalt des unteren Polsters um 0,388 Cub.-Mill., der des oberen Polsters nimmt hingegen um 0,307 Cub.-Mill. zu[2]). Ein Polster, das sich unter den eben gemachten Voraussetzungen krümmt, wird also um 0,081 Cub.-Mill. an Volumen abnehmen. Die früher

---

1) Unter Turgor der Zellen verstehe ich mit Sachs (Lehrbuch II. Aufl. p. 561, Anmerkg. 2) nur den hydrostatischen Druck des Zellinhaltes gegen die Membran.

2) Bezüglich der Berechnung siehe diese Arbeit p. 24 Anmerkung.

mitgetheilten Messungen ergeben aber, dass sich die Dicke der unteren Wulsthälfte bei der Incurvation nur sehr wenig, vielleicht auch, wie ich ausführte, gar nicht verändert, während die Dicke der oberen Wulsthälfte bestimmt, wenn auch nur wenig, abnimmt. Schon deshalb würde die Raumverminderung eines Polsters obiger Maasse bei der angenommenen Einkrümmung etwas erheblicher ausfallen und zudem habe ich schon früher bemerkt, dass sehr reizbare Polster eine stärkere Reizbewegung ausführen, als bei der Rechnung supponirt wurde. Es stehen also auch die durch diese Betrachtungen gewonnenen Resultate in völligem Einklang mit den angestellten Messungen und dem beobachteten Austritt von Flüssigkeit aus dem Gelenke.

Bei den Messungen der Hypotenuse des rechtwinkligen Dreiecks, welches die halbe grosse und halbe kleine Achse zu Katheten hat, fanden wir an der oberen Wulsthälfte nach dem Reiz eine gleiche Länge wie vorher, oder eine Abnahme bis zu 1,5 Theilstrich des Mikrometers. Unter den der ausgeführten Rechnung zu Grunde gelegten Verhältnissen, die, wie ich schon mehrfach bemerkte, ungünstigere sind, als sie die meisten gemessenen Objecte darboten, hätte sich die Hypotenuse um 3 Theilstriche verkleinern müssen, wenn das Volumen des oberen Polsters nach dem Reize das gleiche geblieben wäre wie zuvor. Die Resultate der Messungen selbst, wie auch meine zur Controle der Messungsgenauigkeit vorgenommenen Versuche bieten Garantie genug, dass eine der Rechnung entsprechende Abnahme der Dicke nicht eintritt, dass also das Volumen des oberen Polsters bei der Reizbewegung sich jedenfalls merklich vermehrt.

Um die Frage zu ventiliren, ob die Volumenzunahme durch Uebertritt von Flüssigkeit aus der solche abgebenden unteren Wulsthälfte geschehe, müssen wir uns zunächst einem ungereizten Polster zuwenden. In einem solchen ist die obere Wulsthälfte bekanntlich comprimirt und hat das Bestreben sich in Richtung der Länge auszudehnen, welchem durch den festen Verband mit dem Gefässbündel und dem Antagonismus der unteren Hälfte das Gegengewicht gehalten wird. Die Zellen können ihrem dadurch hervorgerufenen Streben in Richtung senkrecht zu dem mit der Längsachse parallel wirkenden Druck sich auszudehnen, jedenfalls nur theilweise nachkommen, weil die negativ gespannte Epidermis einen Gegendruck ausübt. Da nun von allen Seiten ein Druck auf den Zellen lastet, diese aber notorisch bedeutend turgescent sind und die Zellflüssigkeit nicht compressibel ist, so werden die Zellen dadurch ihr Volumen behaupten, dass die Flächen, mit denen sie nicht im Verband untereinander stehen, sich nach

Aussen hervorwölben, die Intercellularräume sich also verengen. Wenn nun das obere Polster bei der Erschlaffung des unteren sich expandiren kann, so vermindert sich der in Richtung der Längsachse thätige Druck und zwar am meisten in den sich am weitesten ausdehnenden äusseren Schichten. Hierbei wird nun die wie ein Schlauch das Polster umhüllende äussere Epidermiswand, ebenso die ganze Epidermis, in radialer Richtung abzunehmen suchen, ähnlich wie ein Kautschukschlauch, den man gewaltsam verlängert. Ein vermehrter Querdruck wird natürlich nur dann zu Stande kommen, wenn die angestrebte Verengerung des Epidermisschlauches, resp. der äusseren Mantellagen des Parenchyms bedeutender ist, als die gleichsinnige radiale Abnahme innerer Parenchymschichten. Es scheint freilich wahrscheinlicher, dass dieser Querdruck sich etwas vermehrt, weil die äusseren Mantellagen sich stärker verlängern als die inneren, für sie die radiale Verkürzung also relativ ansehnlicher ausfallen müsste[1]). Allein unter den obwaltenden Verhältnissen lassen sich doch auch Einwände erheben und so will ich denn auch die Sache nicht auf Elasticitätsgesetze gestützt erörtern. Sofern aber die Summe aller auf den Zellen lastenden Pressungen sich vermindern sollte, was ich weder mit Sicherheit behaupten, noch negiren kann, würde in dem oberen Polster sofort eine Ursache für eine kleine Volumenzunahme gegeben sein. Denn dann werden die Zellen ihrem Abrundungsstreben etwas folgen können, die Intercellularräume also sich ein wenig zu erweitern suchen und deshalb wie ein Pumpwerk wirken. Gleichzeitig wird aber die von den Zellen abgegebene Flüssigkeit aus dem unteren Polster mit einer gewissen Kraft hervorgepresst, und da nun die safterfüllten Intercellularen, wenigstens die des inneren Parenchyms, nachgewiesenermaassen miteinander communiciren, so wird Flüssigkeit aus den Zwischenzellräumen des unteren Polsters sich in die der oberen Wulsthälfte bewegen müssen. Weiter wissen wir, dass die Zellen des oberen Polsters sich nicht im Maximum der möglichen Turgescenz befanden, weil das isolirte und in Wasser gelegte Polster sich noch ansehnlich verlängert und augenscheinlich auch steifer wird. Der Turgor der Zellen im unverletzten Polster wird ein Gleichgewichtszustand sein zwischen der endos-

---

1) Die mit der neutralen Fläche zusammenfallende Achse ändert sich nicht und unter diesen Verhältnissen würde bei Verlängerung eines Schlauches die Verkürzung der anderen queren Achse proportional der Verlängerung sein und für einen Kautschukschlauch nur deshalb ein klein wenig geringer ausfallen, weil dessen Volumen beim Ausdehnen etwas wächst.

motischen Anziehung des Wassers und dem auf der Zelle lastenden Drucke. Vermindert sich dieser ein wenig, so ist den Zellen Gelegenheit gegeben, noch etwas Flüssigkeit aufzunehmen und in solcher Weise könnte die bei der schnellen Reizbewegung veranlasste Erweiterung der Intercellularen sehr bald wieder durch entsprechende Hervorwölbung der Wandungen ausgeglichen werden.

Die eben gemachten Auseinandersetzungen scheinen zwar als Ursache der Volumenzunahme des oberen Polsters sehr plausibel, sie sind aber doch nur als Hypothese aufzufassen, die zur Gewissheit wird, wenn nachgewiesen ist, dass die Summe der Pressungen, welche auf einer Zelle des oberen Wulstes lastet, sich bei der Reizbewegung vermindert. Jedenfalls ist aber die Volumenzunahme der oberen Gelenkhälfte Thatsache und da dieselbe, wie die mit möglichster Schnelligkeit ausgeführten Messungen zeigen, sogleich nach dem Reize eingetreten ist, so kann dieselbe auch nur mit einer Zufuhr von Flüssigkeit oder Gas innerhalb der Intercellularräume in Verbindung stehen, weil die cuticularisirte Epidermis bekanntlich für Gase sehr schwer permeabel ist und diese zudem in unserem Polster mindestens die Membranen von zwei oder drei Zelllagen durchsetzen müssten, ehe sie in communicirende Intercellularräume gelangen könnten. Auf einer einfachen Ausdehnung von comprimirter Luft kann aber die Volumenzunahme deshalb nicht beruhen, weil die allein luftführenden Intercellularräume des inneren Parenchyms in vollständig freier Communication, sowohl mit den Intercellularräumen der unteren Polsterhälfte, als auch denen der Zweige und den sehr grossen lufterfüllten Räumen des Blattstieles stehen, eine Druckdifferenz vor und nach dem Reiz also sofort ausgeglichen werden wird.

Ob nun die Raumvergrösserung der sich verlängerenden oberen Wulsthälfte auf Einströmen von Gas oder Flüssigkeit beruht und ob diese Körper aus der unteren Gelenkhälfte oder aus dem angrenzenden Gewebe des Blattstieles oder des Zweiges stammen, dafür kann ich keine entscheidenden directen Belege, sondern nur Wahrscheinlichkeitsgründe anführen. Es wurde schon früher mitgetheilt, dass, wenn die obere Wulsthälfte entfernt ist, bei der Reizbewegung Flüssigkeitströpfchen auch auf der durch die Operation entstandenen Schnittfläche hervortreten. Ist auch der Blattstiel weggeschnitten, so ist das austretende Flüssigkeitsquantum überhaupt sehr gering, wenn aber das noch vorhandene Blatt vermöge seines Gewichtes pressend auf die untere Wulsthälfte wirkt, so vermehrt sich aus naheliegenden Gründen das Quantum der hervortretenden Flüssigkeit. In dem unver-

letzten Polster wirkt auch noch das Ausdehnungsstreben der oberen Gelenkhälfte als ein weiterer Druck auf das untere Polster und unter diesen Umständen nimmt sowohl die Grösse der Reizbewegung, als die Menge der austretenden Flüssigkeit zu. Wie sich aus der festgestellten Communication der Intercellularräume von selbst ergiebt, zeigen die angeführten Thatsachen gleichfalls, dass die aus dem unteren Polster ausgepresste Flüssigkeit sich nicht nur nach Blattstiel und Zweig, sondern auch nach der oberen Gelenkhälfte hinzubewegen sucht. Nimmt letztere aber Flüssigkeit auf, so wird dies jedenfalls aus der unteren Gelenkhälfte stammende sein, weil in dieser bei der Reizbewegung die Flüssigkeit unter höheren Druck geräth, während gleichzeitig in dem der oberen Wulsthälfte angrenzenden Parenchym des Blattstieles und des Zweiges keine Ursache der Druckvermehrung gegeben ist und eine solche in geringerem Maasse erst durch die aus der unteren Polsterhälfte in das angrenzende Parenchym gepresste Flüssigkeit zu Stande kommen könnte. Zu einer gleichen Schlussfolgerung kommen wir aber auch für den Fall, dass die obere Wulsthälfte überhaupt keine Flüssigkeit, sondern nur Gas in ihre lufterfüllten Intercellularräume aufnimmt, denn in der unteren Wulsthälfte geräth bei der Reizkrümmung auch zweifellos die in den Zwischenzellräumen des inneren Parenchyms enthaltene Luft unter einen vermehrten Druck.

Nach den vorausgegangenen Erörterungen darf mit Sicherheit angenommen werden, dass die nachgewiesenermassen bei der Reizbewegung eintretende Volumenzunahme der oberen Polsterhälfte mit einem Eintritt eines Theiles der aus dem unteren Wulste hervorgepressten Medien verbunden ist. Ob nun allein übergetretene Luft oder Flüssigkeit oder beide gleichzeitig den Rauminhalt der oberen Gelenkhälfte vermehren, kann ich zur Zeit nicht mit Sicherheit entscheiden, wenn mir auch der letztere Fall wahrscheinlich scheint. Dabei wird in den Intercellularräumen der oberen Gelenkhälfte ein Ersatz von Luft durch Flüssigkeit in namhafterer Weise jedenfalls nicht stattfinden, weil die Färbung der oberen Wulsthälfte bei der Reizbewegung sich nicht ändert. Ich muss hier noch auf eine Beobachtung hinweisen, welche schon früher mitgetheilt wurde. Wenn Polster dicht am Blattstiel quer durchschnitten sind, so ist es ein nicht seltener Fall, dass bei der Reizbewegung zunächst Flüssigkeit aus dem Querschnitt der unteren Gelenkhälfte, gleich darauf aber auch aus dem der oberen Gelenkhälfte tritt. Diese Erscheinung findet ihre Erklärung darin, dass die bei der Einkrümmung aus dem unteren Wulste hervorgepresste Flüssigkeit sich nach allen Richtungen in den communicirenden Intercellular-

räumen auszubreiten sucht und so natürlich, des kürzeren Weges halber, eher zu dem Querschnitt der unteren, als der oberen Polsterhälfte gelangt. Ist diese Auffassung richtig, so zeigt sie doch nur, dass die Intercellularräume beider Gelenkhälften communiciren, ein strenger Beweis dafür, dass das gekrümmte obere Polster seine Volumenzunahme einer Aufnahme von Flüssigkeit verdankt, liegt darin nicht, weil die Menge dieser die gleiche bleiben und die Intercellularräume nur als Strombahnen des fortzuschaffenden Wassers dienen könnten. Auch sieht man leicht ein, wie an dem quer durchschnittenen Polster die hier in Betracht zu ziehenden Verhältnisse nicht ganz die gleichen sind, wie an unverletzten Gelenken.

Gestützt auf die sämmtlichen erörterten Thatsachen kann jedenfalls nicht daran gezweifelt werden, dass die obere Gelenkhälfte ein Quantum der aus der reizbaren Wulsthälfte austretenden Flüssigkeit aufnimmt. Ob auch etwas Luft überwandert, ist nicht sicher zu sagen, doch hat diese Frage auch kaum eine Bedeutung.

Aus meinen Versuchen folgt aber mit Gewissheit, dass nicht die gesammte aus dem unteren Gelenkwulst austretende Flüssigkeitsmenge in die obere Polsterhälfte tritt. Denn, wie schon mitgetheilt wurde, ergaben die an quer durchschnittenen und an unverletzten Gelenken angestellten Messungen ein übereinstimmendes Resultat bezüglich der Dickenveränderung der beiden Polsterhälften. An den durchschnittenen Polstern sahen wir aber bei der Reizbewegung Flüssigkeit hervortreten und solche muss folglich auch bei Einkrümmung unverletzter Gelenke austreten. Es folgt ja ohnehin aus unseren Messungen, dass das Volumen des ganzen Gelenkes bei der Reizbewegung sich etwas vermindert und dieses kann nicht auf einer Compression von Luft beruhen, weil die solche enthaltenden Intercellularen des Gelenkes in offener Verbindung mit den Zwischenzellräumen der Blattstiele und Zweige stehen, deren Rauminhalt ungeheuer viel grösser ist.

An den quer durchschnittenen Polstern kommt die bei der Reizung hervortretende Flüssigkeit aus dem Parenchym und vorzüglich denjenigen Schichten dieses, welche die luftführenden parenchymatischen Mantellagen zunächst umgeben. Ist es mir nun auch nicht gelungen, den Uebertritt dieser Flüssigkeit in das angrenzende parenchymatische Gewebe direct sichtbar zu machen, so kann ein solcher bei der sonstigen Uebereinstimmung an quer durchschnittenen und unverletzten Polstern doch mit Sicherheit behauptet werden. Die communicirenden Intercellularräume des Gelenkes stehen in offener Verbindung mit den Zwischenzellräumen der Zweige und des Blattstieles, welche aber wohl

sämmtlich luftführend sind. In den parenchymatischen Geweben des Zweiges haben die Intercellularen mässige Grösse, während sie im Blattstiel sich zu sehr grossen lufterfüllten Räumen erweitern. Wird nun die Flüssigkeit aus Intercellularräumen des auf Reizung sich krümmenden Gelenkes mit einer gewissen Kraft hervorgepresst, so stellt sich dem Eindringen jener in die Zwischenräume des Parenchyms des Blattstieles und der Zweige kein grösserer Gegendruck in den Weg, weil die Compression der Luft auf ein relativ ungeheuer grosses Volumen vertheilt wird und es lässt sich leicht voraussagen, wie sich die Sache gestalten wird. Die Flüssigkeit wird nämlich nach physikalischen Gesetzen von engeren capillaren Räumen, welche sie auf ihrer Strombahn erreicht, aufgenommen werden und aus diesen die Luft verdrängen, welche in die grösseren Intercellularräume sich bewegt. In diesen kommt aber eine nennenswerthe Vermehrung des Gasdruckes nicht zu Stande, weil die Intercellularräume vollkommen communiciren und der Rauminhalt derselben gegenüber der verdrängten Luft colossal gross ist. Das Volumen der austretenden Flüssigkeit ist übrigens, wie die früher mitgetheilten Rechnungen zeigen, selbst im günstigsten Falle ein sehr geringes und werden schon die Intercellularräume der dem Gelenkwulst nächst angrenzenden Parenchymschichten völlig ausreichen, um das kleine Flüssigkeitsquantum aufzunehmen. Der Fall, dass ein wenig Luft aus dem Polster austrete, worüber unsere Versuche in Zweifel liessen, braucht nach dem Gesagten nicht mehr speciell betrachtet zu werden.

Voraussichtlich wird die aus dem Polster austretende Flüssigkeit sowohl zwischen das angrenzende Parenchym des Blattstieles als des Zweiges sich bewegen. Ob hierbei eines der beiden Parenchymgewebe mehr Flüssigkeit zugeführt bekommt, als das andere, darüber vermag ich nichts zu sagen. Dassen[1]) nimmt Austritt von Flüssigkeit aus dem sich einkrümmenden Gelenk an und zwar soll jene in das Gewebe des Blattstieles treten. Unser Autor hat indess durch seine Versuche die angenommene Bewegung der Flüssigkeit auch nicht einmal wahrscheinlich gemacht, wie er überhaupt einen Flüssigkeitsaustritt aus dem Gelenke keineswegs erwiesen hat. Ich erwähne hier nur, dass Dassen seine oben mitgetheilte Ansicht darauf stützt, dass nach Wegnahme des Blattstieles die Reizbewegung noch fortdaure, indess erlösche, wenn das Polster nur an einer aus dem Zweige geschnittenen Scheibe sitze, das Blatt indess intact sei. Diese Behauptung ist indess

1) Wiegmann's Archiv 1838. p. 354.

unrichtig, indem bei gehöriger Vorsicht Polster, welche nur an einer mässig dicken aus dem Zweige geschnittenen und feucht gehaltenen Längsscheibe sitzen, nach einiger Zeit wieder vorübergehend reizbar werden.

Für einen Uebertritt von Flüssigkeit aus dem erschlaffenden unteren Polster in das Gefässbündel lieferten die Versuche mit quer durchschnittenen Polstern keinen entscheidenden Beweis. Denn wenn ich auch die Schnittfläche des Gefässbündels im günstigen Falle deutlich feucht werden sah, so konnte dieses kleine austretende Flüssigkeitsquantum doch aus dem Gefässbündel selbst stammen, indem es bei der passiven Einkrümmung dieses aus der concav und folglich comprimirt werdenden Hälfte ausgepresst wurde. Ich habe zur geeigneten Zeit leider versäumt, mir Gewissheit über diesen Punct verschaffen zu suchen, was indess wahrscheinlich mit nicht unerheblichen Schwierigkeiten verbunden sein wird.

Gestützt auf die Art und Weise der Fortleitung des Reizes haben alle neueren Autoren einen Eintritt von Flüssigkeit in das Gefässbündel bei der Reizbewegung des Polsters angenommen. Bekanntlich vermag, wie zuerst Dutrochet[1]) nachwies, allein der Holzkörper einen Reiz fortzupflanzen und schon der eben genannte Autor suchte in einer Fortbewegung von Flüssigkeit die Ursache der Fortleitung des Reizes. Sachs[2]) nimmt sogar an, dass sämmtliche aus dem erschlaffenden Gelenke austretende Flüssigkeit in das Gefässbündel trete, indem er sich hierbei namentlich auf ein zuerst von Meyen[3]) angestelltes und bekanntes Experiment stützt. Schneidet man nämlich mit einem scharfen Messer in einen Zweig einer gehörig reizbaren Mimose, so bleibt alles in Ruhe, so lange das Messer nur in dem Rindenparenchym sich bewegt, sobald aber der Holzkörper verletzt wird, senken sich plötzlich die näheren, je nach Umständen auch entfernteren Blattstiele und ein Flüssigkeitstropfen schiesst aus dem Holzkörper hervor. Nach Sachs liegt die Ursache der Reizbewegung in der Störung des Gleichgewichtszustandes, welcher sich in der Ruhe zwischen der Wasservertheilung im Holz und im Parenchym herstellte[4]).

Unter der Voraussetzung eines ansehnlicheren Wassereintritts in

---

1) Réch. anatom. etc. 1824. p. 69. — Mém. pour servir etc. 1837. Bd. I. p. 545.

2) Experimentalphys. p. 482.

3) Pflanzenphysiologie. Bd. III. 1839. p. 519.

4) Näheres bei Sachs, Experimentalphys. p. 483.

das Gefässbündel ist allerdings die Theorie von Sachs sehr ansprechend, allein da nach unseren Versuchen das übertretende Flüssigkeitsquantum jedenfalls nur gering sein kann, so müssen nothwendig Bedenken aufsteigen, auch wenn man einstweilen nichts besseres an die Stelle zu setzen weis. Da ich keine speciell dieser Frage zugewandte Untersuchungen anstellte, so will ich auch keine weitläufige Discussion auf Grund vorliegender Thatsachen beginnen, deren Erwägung mir freilich nur zwei Fälle als möglich erscheinen lässt. Entweder nämlich wirkt thatsächlich die durch Fortleitung von Flüssigkeit hervorgerufene, freilich jedenfalls geringe Störung des Gleichgewichtes der Wasservertheilung in der von Sachs angenommenen oder in einer ähnlichen Weise als Reiz, oder die Ursache des Reizes liegt in einer mit der Reizung in Verbindung stehenden chemischen Spaltung eines Stoffes. Dieser könnte in den reizbaren Zellen eine gleiche Rolle spielen, wie sie in der Thierphysiologie für die hypothetische inogene Substanz des Muskels angenommen wird, dass nämlich die mit Kraftentwickelung verbundene Spaltung jenes Körpers die Muskelcontraction veranlasse. Wenn nun die Spaltungsproducte eines solchen Stoffes die Eigenschaft besässen, die Zerfällung noch unzersetzter Substanz zu bewirken, so könnte die Fortwanderung der Spaltungsproducte zu einem anderen Polster die Reizung desselben veranlassen. Für den Fall aber, dass Zellen des Gefässbündels die fragliche zerfällbare Substanz selbst enthielten, wäre eine Fortpflanzung des Reizes durch die von Zelle zu Zelle fortschreitende Zerfällung jenes Körpers möglich.

Es ist wohl kaum nöthig zu bemerken, dass ich hier eine Möglichkeit erörterte, für welche ich auch nicht den geringsten Beweis, auch keine Wahrscheinlichkeiten beibringen kann. Ich wollte nur zeigen, dass die Fortpflanzung des Reizes auch in einer anderen Weise, als durch fortgeleitete Flüssigkeit möglich ist. Aus bekannten Thatsachen weiss ich aber auch keinen Beweis gegen die erörterte Möglichkeit von der Existenz einer zerfällbaren Substanz und deren Bedeutung für die Fortleitung des Reizes zu finden. Denn bei dem schon vorhin angeführten Experimente, dem Einschneiden in die Zweige, ist die nächste Ursache der Reizung möglicherweise überhaupt eine andere, als bei der Fortpflanzung des Reizes von einem gereizten Gelenke zum anderen. Das Hervorquellen eines mächtigen Flüssigkeitstropfens aus dem angeschnittenen Gefässbündel zeigt, dass die Flüssigkeit sich unter hohem Drucke befand und ist das ungemein rapide Hervorschiessen des grossen Tropfens unter den obwaltenden Verhältnissen nur dann verständlich, wenn derselbe aus communicirenden Röhren des

Gefässbündels stammt. Die durch das Einschneiden bedingte Aufhebung des hohen hydrostatischen Druckes kann sich dann sehr schnell fortpflanzen, und da damit eine kleine Aenderung des Durchmessers der flüssigkeitserfüllten Räume, resp. des Gefässbündels verbunden sein wird, so könnte hierin die Ursache der Reizung liegen. Diese Reizauslösung würde dann also durch keinen Uebertritt materieller Körpertheile aus dem Gefässbündel in das Parenchym, sondern durch einen rein mechanischen Anstoss geschehen. Es liessen sich in der That einige Facta beibringen, welche einen Unterschied zwischen der Fortleitung des Reizes von einem in gewöhnlicher Weise gereizten Gelenke zu einem anderen und der Reizung von Blättern durch Einschneiden in die Zweige das Wort reden. Ich gehe indess auf diese Puncte nicht ein, weil überhaupt die Ursachen der Fortleitung des Reizes in dem Gefässbündel erst durch gründliche neue Untersuchungen festgestellt werden können.

Nach den vorausgegangenen Erörterungen müssen wir aber zugeben, dass schlagende Argumente für einen nennenswerthen Wassereintritt in das Gefässbündel zur Zeit nicht vorliegen, wenn ich auch bekenne, dass mir ein beschränkter Eintritt von Flüssigkeit in das Gefässbündel wahrscheinlich ist. Es war mir nicht möglich, diese erst im Verlaufe der Untersuchung klarer gestellte Frage näher zu verfolgen, weil das Material mit dem Vorrücken der Jahreszeit allmälig unbrauchbar wurde[1]. Unter diesen Umständen beschränke ich mich darauf, hier noch daran zu erinnern, dass die Intercellularräume der das Gefässbündel umgebenden parenchymatischen Mantellagen immer luftführend sind. Das Gefässbündel würde also die eventuell aufzunehmende Flüssigkeit durch Vermittelung der angrenzenden Parenchymzellen zu beziehen haben.

Wir haben bis dahin wesentlich nur die bei der Reizbewegung sich vollziehenden Volumenänderungen und die damit Hand in Hand gehende Umlagerung flüssiger und gasförmiger Medien im Auge gehabt und wird es nun unsere Aufgabe sein, die bei der Bewegungsmechanik zusammengreifenden Factoren kennen zu lernen.

Ein bei der Reizung plötzlich stattfindender Wasseraustritt aus dem Lumen der Zellen des unteren Polsters ist durch die mitgetheilten Untersuchungen als sicher gestellt anzusehen und alsfallige Zweifel

1) Einige Versuche mit Einpressung von gefärbten Lösungen (Cochenille, Anilinblau) in die Zweige bei gleichzeitiger oft wiederholter Reizung der Bewegungsgelenke der Blätter führten zu keinem Resultate.

werden mit dem absolut sicheren Nachweis eines rapiden Wasseraustritts aus den Zellen der reizbaren Staubfäden der Cynareen schwinden. Der Turgor der Zellen vermindert sich also durch den auf Reizung erfolgenden Wasseraustritt aus den Zellen des unteren Polsters von Mimosa. Der hydrostatische Druck in den fraglichen Zellen ist jedenfalls, worauf ich erst späterhin kommen werde, vor der Reizung ein sehr ansehnlicher und ist nachher nur vermindert, nicht aufgehoben. Die Spannung der Membranen wächst aber nothwendig proportional dem hydrostatischen Drucke oder, was dasselbe ist, mit dem in die Zelle aufgenommenen Wasservolumen, sofern den Membranen vollkommene Elasticität zukommt [1]. Letzteres lässt sich nun freilich für die Membranen des Gelenkwulstes von Mimosa nicht mit völliger Gewissheit entscheiden, denn bei kugeligen Zellen kann eine auf Zug stattfindende Verlängerung allein auf einer Formänderung jener beruhen, indem die dem Zuge parallele Achse der Zelle sich verlängert, ähnlich wie die Längenzunahme einer aus federnden Stahlringen bestehenden Kette, wesentlich nur auf Dimensionsänderung ihrer Glieder beruht [1]. In den Staubfäden der Cynareen werden wir aber Membranen von grosser Dehnbarkeit und sehr vollkommener Elasticität kennen lernen und bei Mimosa lässt sich wenigstens das Vorhandensein von Elasticität in den Zellmembranen demonstriren. Bringt man nämlich etwa 2 bis 3 Zelllagen dicke Schnitte aus dem unteren Gelenkwulst von Mimosa in Wasser und beobachtet nun bei starker Vergrösserung die Einwirkung verdünnter Zuckerlösung, die eine eben wahrnehmbare Abhebung des Primordialschlauches von der Membran veranlasst, so kann man eine geringe Verkleinerung des Zellendurchmessers deutlich wahrnehmen. Nach Auswaschen der Zuckerlösung lässt sich umgekehrt wieder eine kleine Vergrösserung der Durchmesser mit steigendem Turgor feststellen, natürlich vorausgesetzt, dass der lebende Zustand des Protoplasmas nicht vernichtet war. Sobald also der hydrostatische Druck in den Zellen ein wenig sinkt, wird durch die in der gedehnten Zellmembran thätige elastische Kraft eine entsprechende Verringerung der Zellendurchmesser angestrebt. Demnach werden sich aber auch die stark turgescirenden und in Folge einer Reizung Flüssigkeit abgebenden Zellen etwas verkleinern. Natürlich muss auch der Complex der reizbaren Zellen der unteren Wulsthälfte eine entsprechende Dimen-

---

1) Vergl. Nägeli, Mikroskop 1867. p. 411.
2) Ebenda, p. 410.

sionsänderung erfahren, die selbstverständlich in der Richtung der Längsachse des Polsters beträchtlicher ausfällt.

Die durch die reizbaren Zellen selbst veranlasste Verkürzung wurde von früheren Autoren übersehen. Brücke[1]) constatirte zuerst, dass ein seiner oberen Hälfte beraubtes Polster auch dann noch auf Reiz reagirt, wenn durch horizontale Stellung der Bewegungsebene das abwärts ziehende Gewicht des Blattes eliminirt ist. Die Bewegung soll aber hier nach unserem Autor allein durch die passiv gedehnte Epidermis veranlasst werden, indem diese bei der Erschlaffung der Zellen sich vermöge ihrer elastischen Kraft etwas verkürze, eine Auffassung die auch Hofmeister[2]) theilt. Bert's[3]) Angabe, dass ein von seiner oberen Hälfte befreites Polster keine Reizbewegung mehr ausführe, wenn das auf die erschlaffenden Zellen der unteren Wulsthälfte comprimirend wirkende Gewicht des Blattes ausgeschlossen ist, muss ich als unrichtig bezeichnen. Ich finde übereinstimmend mit Brücke eine freilich geringe Reizbewegung, wenn ich die in bekannter Weise einseitig operirten Polster horizontal stelle. Es vermag sogar die Contraction der unteren Wulsthälfte noch ein kleines Gewicht zu heben. Hat man nämlich an einem Gelenke die obere Wulsthälfte und ausserdem noch die secundären Blattstiele entfernt und kehrt nun die Pflanze um, so findet auch jetzt noch auf Reiz eine kleine Einkrümmung des Gelenkes statt, obgleich doch das durch den sich aufwärts bewegenden primären Blattstiel repräsentirte Gewicht gehoben werden muss. Beiläufig sei hier bemerkt, dass die ihrer oberen Hälfte beraubten Polster erst einige Zeit nach der Operation wieder reizbar werden; bezüglich der technischen Ausführung verweise ich übrigens auf Brücke's[4]) und Hofmeister's[5]) Angaben.

Es kann nun allerdings keinem Zweifel unterliegen, dass eine negative Spannung der Epidermis und ebenso das Ausdehnungsstreben der oberen Wulsthälfte auf die Grösse der Reizbewegung influiren. Denn mit sinkendem Turgor der Zellen der unteren Wulsthälfte nimmt auch deren Steifheit in einem nicht genau anzugebenden Verhältniss ab; ein wirksamer Druck wird nun leichter eine Abnahme des Durchmessers der Zellen in Richtung der Pressung zu Stande bringen, wie man sich

---

1) Müller's Archiv. 1848. p. 448.

2) Pflanzenzelle p. 305.

3) Mémoir. d. l. soc. d. sc. phys. et natur. d. Bordeaux 1866. p. 27 des Separatabdruckes.

4) L. c. p. 449.

5) Pflanzenzelle p. 304. Anmerkung.

leicht an einer Blase klar machen kann, auf deren Wände ein geringerer oder grösserer hydrostatischer Druck von dem eingeschlossenen Wasser ausgeübt wird. Endlich wird auch die Zusammenpressung eine vermehrte Abgabe von Flüssigkeit aus den Zellen veranlassen können. Fassen wir zunächst einmal allein die Bedeutung der Epidermis für die Reizbewegung in's Auge.

Seit Brücke[1]) ist die auffallend geringe negative Spannung der Epidermis in den Gelenken von Mimosa bekannt. Wenn man die Epidermis mit den nächst unterliegenden Parenchymschichten loslöst und in Wasser legt, so tritt eine nur recht mässige concave Krümmung nach Aussen ein. Fertigt man nicht zu dünne Medianschnitte an und trennt an diesen durch einen senkrechten Schnitt das Parenchym vom Gefässbündel, so tritt nach dem Einlegen in Wasser sogar eine leichte concave Krümmung nach Innen zu ein, zum Beweise, dass die Epidermis der Expansion des mittleren parenchymatischen Gewebes einen geringeren Widerstand entgegensetzt, als die innersten Parenchymschichten[2]). Das Resultat ist übrigens dasselbe, gleichviel ob man Lamellen aus dem oberen oder unteren Gelenkwulste nimmt.

Um ein klares Bild für unsere Zwecke zu gewinnen, müssen wir aber auch die Gewebespannung vor dem Einlegen der Schnitte in Wasser kennen lernen. Trennt man die Epidermis von einer eben durch Reizung eingekrümmten unteren Wulsthälfte, so zeigt diese entweder gar keine negative Spannung oder verlängert sich sogar sofort ein klein wenig, war also durch die Expansionskraft der oberen Wulsthälfte etwas comprimirt. Dieses gilt auch für das parenchymatische Gewebe, denn beim Abtrennen desselben gleicht sich die Krümmung, welche es im gereizten Polster besass, zum sehr kleinen Theil aus, wobei zu bedenken, dass die äusseren Parenchymschichten am stärksten zusammengepresst waren. In der convex gekrümmten oberen Wulsthälfte ergibt die Section, wie zu erwarten war, eine negative Spannung der Epidermis und eine solche existirt auch in der unteren Polsterhälfte vor der Reizkrümmung, wie man an chloroformirten Polstern nachweisen kann. Messungen über die Verkürzung beim Isoliren der Schichten auszuführen, schien für unsere Zwecke werthlos, weil, wie ich früher erörterte, ein Mass für die durch die Spannung repräsentirten elastischen Kräfte doch damit nicht gewonnen wird.

---

1) Müller's Archiv 1848. p. 439.

2) Vergl. Sachs, Experimentalphys. p. 479. Millardet, Nouvelles récherches etc. 1869. p. 13.

Ist an einem Gelenke die obere Hälfte entfernt, so findet nach einiger Zeit immer eine concave Einkrümmung der unteren Wulsthälfte gegen die Schnittfläche statt, wenn nicht dem Ausdehnungsstreben des Parenchyms durch einen entsprechenden Gegendruck das Gleichgewicht gehalten wird. Das an einem Hebelarm wirkende Gewicht leichterer Blätter reicht gewöhnlich nicht aus, um die nach Oben concave Krümmung des operirten Gelenkes zu verhindern. Hierbei vermehrt sich aber, wie sich auch an chloroformirten Objecten direct zeigen lässt, die negative Spannung der Epidermis und also auch die elastische Kraft, mit welcher sie auf die bei Reizung erschlaffenden Parenchymzellen wirkt. Damit stimmt denn auch die von Brücke[1]) richtig gedeutete Beobachtung überein, dass die Grösse der Reizbewegung sich vermehrt, wenn an Polstern, welchen die obere Gelenkhälfte genommen ist, die nach der Schnittfläche concave Krümmung zugenommen hat.

An in Ruhelage befindlichen Polstern existirt also immer eine negative Spannung der Epidermis und diese wird bei der Reizbewegung der ihres oberen Polsters beraubten Gelenke niemals aufgehoben, wenigstens dann nicht, wenn keine comprimirende Kraft in Richtung der Längsachse des Wulstes wirkt. Eine solche muss aber bei Entscheidung der Frage, ob auch ohne den activen Zug der Epidermis eine Verkürzung des Parenchyms im unteren Gelenke eintritt, ausgeschlossen werden. Ich löste deshalb an Polstern die obere Hälfte ab und nahm einige Stunden später mit grösster Behutsamkeit von der unteren Hälfte die Epidermis vollkommen weg, mit der durchschnittlich wohl ein bis zwei angrenzende Lagen des Parenchyms entfernt wurden. An solchen Objecten wurde dann, wenn auch nicht jedesmal, so doch wiederholt eine kleine Reizbewegung constatirt, welche im günstigsten Falle eine Verkleinerung des Winkels zwischen Zweig und Blattstiel um 5 Grad, meist aber nur um 2 bis 3 Grad herbeiführte. Diese Winkelveränderung wurde an in geeigneter Weise angebrachten Gradbögen abgelesen und um den durch das Gewicht des stehen gebliebenen Blattstieles ausgeübten Druck zu eliminiren, war die Bewegungsebene horizontal gestellt. Die Reizempfänglichkeit trat stets erst nach Verlauf von $^1/_2$ bis 2 Stunden an den in feuchter Luft gehaltenen Objecten auf und hielt stets nur kurze Zeit an, um dann auf immer zu verschwinden.

Bei den zum vorigen Versuche dienenden Objecten zeigten die

---

1) Müller's Archiv 1848. p. 448.

nachher isolirten äusseren Parenchymschichten keine Krümmung nach Aussen, vielmehr wurde eine geringe nach Innen concave Krümmung beobachtet, wenn sich die dem Gefässbündel nächst liegenden Parenchymschichten an den losgelösten Lamellen befanden. Die äusseren Lagen waren also nicht negativ gespannt und die geringe Verkürzung des Parenchyms könnte bei der Anstellung des Experimentes nur in der Contraction der reizbaren Zellen selbst ihren Grund haben, welche aus früher angeführten Gründen auch eintreten muss. Für die Verkürzung, welche die sich verkleinernden, wasserabgebenden Zellen bei der Reizung ohne Mitwirkung comprimirender Kräfte factisch anstreben, kann aber die beobachtete geringe Reizbewegung keinen Massstab abgeben. Denn durch die mit der Operation verbundenen Eingriffe leidet die Reizempfänglichkeit der Zellen augenscheinlich. Ich will hier nur als Beweis anführen, dass auch dann die Grösse der Reizbewegung unverhältnissmässig herabgesetzt wird, wenn man an übrigens unverletzten Gelenken die Epidermis allseitig entfernt.

Es bedarf nach dem Vorausgegangenen keiner besonderen Erörterung mehr, dass der Druck, welchen die obere Hälfte vermöge ihres Expansionsstrebens auf die untere Hälfte ausübt, für die Grösse der bei Reiz erfolgenden Einkrümmung von Bedeutung ist. Sehr einfach geht dieses auch daraus hervor, dass die Vermehrung des auf die untere Hälfte comprimirend wirkenden Druckes die Grösse der Reizbewegung steigert. Durch Anhängen von Gewichten an den Blattstiel ist dieses leicht zu zeigen.

Schon früher wurde erwähnt, dass über beide Wulsthälften des Gelenkes Querfurchen verlaufen, welche im Ruhezustand des Polsters nur sehr seicht sind, sich aber bei der Einkrümmung auf der unteren Wulsthälfte merklich vertiefen, indess auch dann noch nur durch äusserst sanft gewölbte Hügel getrennt sind. Diese Vertiefung der Furchen ist eine Folge der Compression der unteren Wulsthälfte und gleicht sich demgemäss auch aus, sobald der durch die obere Gelenkhälfte ausgeübte Druck durch Entfernung dieser aufgehoben ist. Wir werden auf diese Faltung bei Oxalis zurückkommen, wo sie ungleich auffallender zu Tage tritt.

Da die auf Reiz Flüssigkeit abgebenden Zellen sich verkleinern, so würde, falls die Abnahme nach allen radialen Richtungen die gleiche wäre, der Querdurchmesser der unteren Wulsthälfte etwas abnehmen. Aber abgesehen davon, dass die Zellmembranen nach verschiedenen Richtungen ungleich dehnbar sein könnten, liegt in der Compression der erschlaffenden Zellen die Möglichkeit, dass die Abnahme

der Dicke mehr als ausgeglichen wird. Aus theoretischen Betrachtungen können wir hier durchaus keinen sicheren Schluss auf die resultirende Dickenänderung des Polsters ziehen, weil hierzu genaue Kenntniss über Elasticität der in Betracht kommenden Membranen, über Turgor u. s. w. erforderlich wären, welche nicht gegeben sind. Auch müsste man die Mächtigkeit der ganz oder theilweise passiv gedehnten Schichten kennen, welche bei der Verkürzung eine Verdickung erfahren werden, weil sich ihr Volumen nicht der Contraction entsprechend ändern wird. Thatsache ist, dass die untere Wulsthälfte bei der Reizbewegung an Dicke nicht wesentlich gewinnt. Die sehr geringe Zunahme, welche die Messungen durchschnittlich ergaben, kann, wie ich schon erörterte, vielleicht ihren Grund allein in der Hervorwölbung der zwischen den Furchen liegenden Partien haben.

Ueber die ungleiche Betheiligung der Parenchymlagen der unteren Polsterhälfte bei der auf Reiz erfolgenden Contraction vermag ich nicht viel zu sagen. Betrachten wir zunächst einmal die Epidermis, so ist bekannt, dass die negative Spannung dieser bei der Reizbewegung abnimmt und sogar in positive Spannung in Folge der Compression der unteren Wulsthälfte übergehen kann. Wir haben freilich dabei zu bedenken, dass sich die Epidermis bei Krümmung des Polsters verhältnissmässig mehr verkürzt, als innere Parenchymschichten, weil sie bei gleichem Winkel einem kleineren Radius angehört. Allein wenn wir auch dieses berücksichtigen, so ist die Zunahme der negativen Spannung der Epidermis (eigentlich dieser mit 1—2 Zelllagen) gegen die nächst angrenzenden Parenchymlagen bei der Expansion doch so ansehnlich, dass eine eventuelle active Verlängerung der Epidermis unmöglich proportional dem Expansionsstreben des angrenzenden Parenchyms sein kann. Das ist aber auch das einzige, was wir mit Sicherheit schlussfolgern können; ob die Epidermiszellen durchaus passiv sind, dürfte nach den jetzigen Methoden in unserem Falle kaum zu entscheiden sein.

Eine Spannung zwischen dem luftführenden Parenchym und dem nach Aussen angrenzenden parenchymatischen Gewebe lernten wir schon früher kennen. Schneidet man aus der auf Reiz eingekrümmten unteren Wulsthälfte mediane Lamellen, von denen man durch senkrechte Schnitte das Gefässbündel und die Epidermis mit den nächst angrenzenden Parenchymlagen trennt, so vermindert sich die nach dem nicht luftführenden Parenchym concave Krümmung nur wenig. Beim Einlegen in Wasser gehen aber die Präparate schnell in die umgekehrte Krümmung über und ebenso erfolgt bei Präparation gleicher

Lamellen aus chloroformirten gerade gestreckten Polstern sogleich eine merkliche concave Krümmung gegen das luftführende Parenchym. Aus diesen Beobachtungen ergiebt sich, dass die Verlängerungen, welche das luftführende und das nach Aussen angrenzende Parenchym bei der Expansion erfahren, jedenfalls nicht proportional sein können. Ob das luftführende Parenchym überhaupt keine active Contraction bei der Reizbewegung ausführt, lässt sich hieraus nicht entscheiden [1]).

Mit Sicherheit lässt sich also sagen, dass die zwischen dem luftführendem Parenchym und den äussersten, der Epidermis angrenzenden Parenchymschichten liegenden Mantellagen die ansehnlichste active Verkürzung auf Reiz und dem entsprechend die grösste active Verlängerung bei Rückkehr in die Ruhelage ausführen. Der Nachweis, dass die mittleren parenchymatischen Schichten des unteren Wulstes die reizbarsten sind, hat für uns aber eine hohe Bedeutung. Denn in diesem Parenchym communiciren nachgewiesenermassen die safterfüllten Intercellularräume, in welche die von den Zellen abgegebene Flüssigkeit sich ergiesst. Wenn nun auch die alleräussersten Parenchymschichten, in denen die Zwischenzellräume wohl sicher nicht in Verbindung stehen, factisch in minderem Grade reizbar sein sollten, so wird doch die von ihnen abgegebene geringe Flüssigkeitsmenge leichter mit genügender Schnelligkeit von Zelle zu Zelle oder durch die Membranen zu den nicht fernliegenden communicirenden Intercellularräumen gelangen können.

Nach den mitgetheilten Untersuchungen liegt in der Wasserabgabe und der damit verbundenen Erschlaffung der Zellen der unteren Wulsthälfte die nächste Ursache der Bewegung des gereizten Polsters. Dieses verkürzt sich einmal in Folge des sinkenden Turgors der mit elastischen Membranen versehenen Zellen, ausserdem aber veranlasst die Compression der erschlaffenden Parenchymzellen eine wesentliche Steigerung der Einkrümmung des Polsters. Die Zusammenpressung wird namentlich durch die Expansion der positiv gespannten oberen Wulsthälfte bewirkt. Die passiv gedehnte Epidermis wird nur bei einem Theile der Einkrümmung vermöge ihrer Elasticitätskraft comprimirend wirken, da sie nachher selbst durch den überwiegenden, von der oberen Wulsthälfte ausgeübten Druck positiv gespannt sein kann.

Die aus den parenchymatischen Zellen der unteren Gelenkhälfte austretende Flüssigkeit ergiesst sich in wenigstens theilweise zuvor

---

1) Worauf Hofmeister (Pflanzenzelle p. 304) seine Behauptung, das luftführende Parenchym sei bei der Bewegung indifferent, stützt, weiss ich nicht.

luftführende Intercellularräume. Ein Theil der Flüssigkeit bewegt sich von diesen in das dem Polster seitlich angrenzende parenchymatische Gewebe, ein anderer Theil fliesst in die obere Wulsthälfte, welche bei der Reizkrümmung an Volumen zunimmt. Ob auch Luft aus dem unteren Wulste in den oberen wandert oder ob Luft aus dem Polster austritt, ist nicht mit Sicherheit zu sagen. Zweifelhaft bleibt es auch, ob eine nennenswerthe Menge von Flüssigkeit in das Gefässbündel gelangt, wenn auch der Eintritt einer beschränkten Menge wahrscheinlich ist. Welche Ursachen dem Austritt und der Wiederaufnahme von Flüssigkeit zu Grunde liegen, davon werde ich erst bei Mittheilung der Versuche mit den Staubfäden der Cynareen sprechen.

Bekanntlich ist eine Mimose, wie auch andere reizbare Pflanzen, nur dann empfindlich, wenn gewisse nothwendige Bedingungen erfüllt sind, andernfalls verfällt die Pflanze in einen zunächst nur vorübergehenden Starrezustand. Dieses geschieht z. B., wenn Lichtzutritt längere Zeit abgeschlossen ist, oder wenn die Temperatur specifische obere und untere Grenzen überschreitet, auch in Folge der Einwirkung der Dämpfe von Chloroform, Aether und in ähnlicher Weise auf den thierischen Organismus influirender Körper. Auch dann, wenn Erschütterungen in kurzen Intervallen aufeinander folgen, können die Gelenke der Blattstiele und Blättchen für Reiz unempfindlich werden, obgleich sie eine der Tagstellung habituell gleichende Lage einnehmen.

Desfontaines[1]) beobachtete, dass auf eine Mimosa pudica, welche er mit sich in einem Wagen führte, der Beginn des Fahrens wie ein Reiz wirkte, während bei andauernder Erschütterung Blattstiele und Blättchen sich wieder in die Ruhelage zurückbegaben[2]). Eine gleiche Beobachtung theilt Göppert[3]) mit, welcher ausdrücklich bemerkt, dass die Pflanze, die ihre Blattstiele erhoben und ihre Blättchen

---

1) Die Beobachtung ist in allen Lehrbüchern citirt, aber ohne Angabe der Quelle, welche mir unbekannt ist. Vgl. auch Hofmeister, Pflanzenzelle p. 317. Anmerkg. 2.

2) Hierher gehört auch die Beobachtung, dass eine anhaltenden Windstössen ausgesetzte Mimose die Blätter wieder entfaltet. Link, Element. philos. bot. 1824. p. 421.

3) Botan. Zeitung 1862. p. 110.

entfaltet hatte, für Reiz empfänglich war. In gleicher Weise verhielt sich nach Hofmeister[1]) eine Mimose, wenn durch sie schnell aufeinander folgende Schläge eines Inductionsapparates geleitet wurden. Das gereizte Blatt erhob sich nämlich allmälig und dann wirkte auf die Kissen eine Berührung oder eine Steigerung der Intensität der Schläge als Reiz.

Mit den eben mitgetheilten Beobachtungen stehen die von Dassen und Bert nicht in Einklang, insofern diese Autoren zwar auch beobachteten, dass bei andauernderer Erschütterung die Blätter in eine der Ruhelage habituell gleichende Stellung zurückgingen, dabei aber nicht für Reiz empfindlich waren und dieses erst einige Zeit nach Sistirung der Erschütterung wurden. Nach Dassen[2]) soll eine Pflanze, die $^3/_4$ Stunden lang erschüttert wurde, nachher eine gute Stunde lang unempfindlich gewesen sein, während Bert[3]) die Rückkehr der Reizbarkeit nach Unterbrechung der Reizung in ungleich kürzerer Zeit fand. Dieser Autor bemerkte ferner, dass die Blattstiele, welche in kurzen Intervallen berührt wurden, sich eben so schnell aufrichteten, als wenn sie nach der ersten Reizung der Ruhe überlassen blieben.

Die Richtigkeit der Angaben Bert's lässt sich leicht bestätigen, indem man einfach das Polster eines auf Reiz gesenkten Blattstieles in kurzen Intervallen mit irgend einem Körper auf seiner Unterseite berührt. Wo es sich um längere Zeit fortgesetzte Stösse handelt, wird sich ein Jeder leicht irgend eine geeignete Vorrichtung construiren können. Ich selbst bediente mich des folgenden sehr einfachen Apparates. Eine Stricknadel, an deren einem Ende ein Stückchen sehr leichten Bleches befestigt war, wurde durch eine ziemlich dünne Kautschuklamelle gesteckt und diese so in einen Halter geklemmt, dass die Stricknadel annähernd horizontal stand. Indem nun aus einem geeigneten Tropfapparat Wassertropfen auf das Blech fallen gelassen wurden, konnten mit dem anderen Hebelarm der Stricknadel Stösse gegen die Unterseite des Polsters eines primären Blattstieles geführt werden, deren Intensität durch die Grösse der Tropfen und die Fallhöhe dieser modificirbar war. Eine sichere Führung der anschlagenden Stricknadelspitze ist durch eine entsprechende Vorrichtung, wie sie z. B. mit einem Korkstücke und Stecknadeln herzustellen ist, leicht zu erreichen und dass der Schwerpunct unseres Stabes ein wenig vom Kautschukgelenke

1) Pflanzenzelle p. 317.
2) Wiegmann's Archiv 1838. p. 350.
3) Mém. d. sc. phys. et natur. de Bordeaux 1866. p. 21 des Separatabzuges.

entfernt gegen die schlagende Spitze hin liegen muss, braucht kaum erwähnt zu werden. Bei richtiger Herrichtung des Tropfapparates kann man ausserdem die Stösse in genügend gleichen Zeitintervallen wirken lassen.

Wie schon erwähnt, erhebt sich der primäre Blattstiel, dessen Polster auf seiner Unterseite in nicht zu grossen Zeitintervallen genügend intensive Berührungen erfährt, eben so schnell, als wenn das Polster nach der Reizung in Ruhe gelassen wird. Im ersteren Falle ist das Gelenk aber nicht reizbar und wird dieses erst in kurzer Zeit, meist 5 bis 15 Minuten nach Sistirung der Stösse, ohne dass der Uebergang in den reizempfänglichen Zustand mit einer Senkung des Blattstieles oder einer sichtbaren äusseren Veränderung verbunden wäre. Die Angabe Desfontaine's, dass nach dem Stillstand des Wagens eine beginnende Bewegung als Reiz wirkte, liess sich dadurch erklären, dass die Ruhe jedesmal lange genug dauerte, um den reizbaren Zustand wieder herzustellen. Anders mit Göppert's Aussage, dass die Pflanze auch während des Fahrens noch reizbar gewesen sei. Waren in diesem Falle die Erschütterungen des Fahrens wirklich gross genug, um auf die mitgenommene Pflanze als Reiz zu wirken, so würde allerdings eine wirkliche Gewöhnung an anhaltende Erschütterung vorliegen, welche aus dem Ergebniss unserer Versuche nicht zu folgern ist, weil bei denselben die Reizbarkeit während der Stösse nicht wiederkehrte. Da nun Dassen fand, dass während anhaltender Erschütterung der ganzen Pflanze die Reizbarkeit gleichfalls verloren ging, so muss die Aufklärung der Angaben von Göppert der experimentellen Untersuchung überlassen bleiben. Die von Hofmeister mit Inductionsschlägen erhaltenen Resultate können wir nicht wohl ohne weiteres mit dem Erfolg wiederholter Berührung vergleichen.

Es ist eine constante Erscheinung, dass die andauernd geschlagenen Gelenke den Blattstiel im günstigsten Falle bis zu 15 Grad, meist freilich weniger, über die Stellung erheben, welche dieser vor der Reizung inne hatte, auch wenn die Pflanze unverändert an ihrem Platz stehen bleibt und die nicht gereizten Blattstiele weder Erhebung noch Senkung in der Zwischenzeit ausführen. Allein ebenso verhalten sich auch die Gelenke, welche nach der Reizung in Ruhe gelassen werden; in beiden Fällen aber ist die vermehrte Erhebung des Blattstieles nur vorübergehend und nach kurzer Zeit hat sich dieser wieder in die gleiche Lage wie vor der Reizung herabgesenkt[1]. Für die Erhebung

1) Eine vollkommen sichere Erklärung kann ich für dieses vorübergehende

des Blattstieles ist es ganz gleichgültig, ob Zeitfolge und Intensität der Stösse gleichförmig oder sehr unregelmässig sind, in allen Fällen wird aber nur das unmittelbar berührt werdende Gelenk unempfindlich gefunden, die secundären Blattstiele und die Blättchen desselben Blattes entfalten sich dabei, wenn sie zuvor gereizt waren und bleiben, wie lange auch das primäre Polster geschlagen werden mag, immer reizbar. Das primäre Polster hingegen ging nicht in einen reizempfänglichen Zustand über, auch wenn gleichförmige Stösse 2 bis 3 Stunden lang gegen dasselbe geführt wurden. Sobald diese unterbrochen waren, trat auch jetzt innerhalb 5 bis 15 Minuten Empfindlichkeit für Reiz wieder ein.

Die Schnelligkeit der Erhebung des Blattstieles nach Reizung des Gelenkes nimmt im Allgemeinen mit der Reizbarkeit zu, hängt also wie diese sowohl vom Alter des Blattes, wie auch von äusseren Bedingungen ab. In einem ähnlichen Abhängigkeitsverhältniss steht auch die Zeit, innerhalb welcher Stösse aufeinander folgen müssen, damit nicht ein nächster als Reiz wirkt. Bei allen von mir untersuchten Objecten konnten die successiven Stösse jedenfalls durch eine Zeit von 2 Minuten getrennt sein[1]), ohne dass das Verhalten des Gelenkes ein anderes gewesen wäre, als wenn innerhalb einer Secunde bis zu 4 Stösse erfolgten. Es gilt dieses für Untersuchungen, welche bei einer Schattentemperatur zwischen 21 und 25° C. sowohl in diffusem Zimmerlicht, als bei mässigem Sonnenschein angestellt wurden.

Bei allen der Sonne exponirten, also auch stärker erwärmten Mimosen, wirkte ein jeder Stoss als ein neuer Reiz, wenn er 5 Minuten später als die vorausgegangene Berührung erfolgte, in manchen

---

Höhersteigen des Blattstieles nicht geben, doch möchte ich glauben, dass dasselbe mit der geringen Reizbarkeit der oberen Wulsthälfte zusammenhängt. Berührt man diese kräftig genug mit irgend einem Körper, jedoch so, dass die untere Polsterhälfte nicht gereizt wird, so erhebt sich der primäre Blattstiel im günstigen Falle bis zu 15 Grad, um nach Sistirung der Stösse wieder auf die Ausgangsstellung in einiger Zeit zurückzugehen. Die obere Wulsthälfte ist also in geringerem Masse reizbar, wie sich auch nach Entfernung der unteren Gelenkhälfte zeigen lässt. Bei einer Einkrümmung des Gelenkes könnte nun wohl eine kleine Erschlaffung der oberen Hälfte eintreten und wenn die Zellen der unteren Hälfte z. B. schneller die durch Reizung hervorgerufene Aenderung ausglichen, so würde die fragliche vorübergehend vermehrte Erhebung zu Stande kommen können. Für die Volumenzunahme der sich krümmenden oberen Wulsthälfte und die früher erörterte mögliche Betheiligung der Intercellularräume hierbei, würde diese geringe Reizbarkeit der oberen Gelenkhälfte keine besondere Bedeutung haben.

1) Jedenfalls wird sich bei äusserst reizbaren Mimosen dieser Zeitintervall geringer herausstellen.

Fällen wurde auch dann ein gleiches Resultat erhalten, wenn die Zeitintervalle nur 3 Minuten dauerten. Bei den in diffusem Licht stehenden Pflanzen kam es nur selten vor, dass ein jeder nach 5 Minuten eintreffender Stoss eine Reizbewegung hervorrief, gewöhnlich trat hier ein anderes Verhalten zu Tage, wie es auch bei Sonnenschein meist beobachtet wurde, wenn die Berührungen um 3 Minuten auseinander lagen. Bei den ersten 1 bis 4 das Gelenk treffenden Stössen erhob sich nämlich der Blattstiel continuirlich, um dann bei einer folgenden Berührung eine plötzliche Senkung auszuführen, welche indess niemals so weit ging, dass der Blattstiel einen eben so kleinen Winkel mit dem Zweige bildete, wie er ihn bei der vorausgegangenen in der Ruhelage applicirten Reizung erreichte. Bei den nach dieser Reizbewegung in demselben Tempo wie zuvor folgenden Stössen erhob sich der Blattstiel wieder und zwar höher wie unmittelbar zuvor, ehe eine Berührung von Neuem als Reiz wirkte. Der Blattstiel sank hierbei nie auf eine gleiche Tiefe wie bei der zunächst vorausgegangenen Reizung; die wirkliche Grösse der Reizbewegung wurde aber grösser oder kleiner wie zuvor gefunden. Vor dieser zweiten Reizung hatte der Blattstiel sich seiner ursprünglichen Ruhelage genähert oder diese selbst überschritten und ebenso verhielt sich derselbe bei der Fortsetzung des Experimentes. Hierbei war die Zahl der zwischen zwei aufeinanderfolgenden Reizungen liegenden Stösse nicht immer ganz genau die gleiche, auch zeigte sich die Grösse der Reizbewegung nicht constant, fiel vielmehr bei einer folgenden Reizung bald ansehnlicher, bald geringer aus. In dem eben beschriebenen Verhalten wurde an verschiedenen Objecten eine merkliche Aenderung bei einer Versuchsdauer von $1^1/_2$ Stunden nicht bemerkt. Vereinzelt habe ich freilich auch beobachtet, dass nur einer der ersten Stösse als Reiz wirkte, bei allen folgenden das Polster aber unempfindlich war und sich eben so verhielt, wie es immer der Fall ist, wenn die Berührungen in genügend kurzen Zeitintervallen folgen. Da ich dieses Verhalten nicht näher verfolgte, so beschränke ich mich auf Angabe des Factums, dem verschiedene denkbare Ursachen zu Grunde liegen können.

Da die detaillirte Mittheilung von nebensächlichen Dingen kein Interesse hat, so beschränke ich mich darauf, hier noch die Beobachtungsresultate eines Versuches mitzutheilen, welcher am 7. September 1872 Morgens angestellt wurde. Die Pflanze stand nahe an einem Südfenster in diffusem Licht, die Temperatur schwankte zwischen 22,5 und 23,5 C. An einem in geeigneter Weise angebrachten Gradbogen ist der nach unten geöffnete Winkel, welchen Blattstiel und Zweig

miteinander bilden, abgelesen. Nachdem die Pflanze schon längere Zeit auf demselben Platze gestanden und sich der fragliche Winkel in der letzten halben Stunde nicht nennenswerth verändert hatte, wurde allein das Polster des primären Blattstieles gereizt, wobei dieser von 120 Grad auf 72 Grad sank, die secundären Blattstiele und Blättchen ihre Stellung aber nicht veränderten. Drei Minuten nach der Reizung und weiterhin von 3 zu 3 Minuten bekam nun die untere Wulsthälfte mit Hülfe der beschriebenen Vorrichtung einen Stoss. Im übrigen bedarf die Tabelle keiner Erklärung, in welcher, wie man sieht, immer nur die Stösse eine Berücksichtigung fanden, welche eine Reizbewegung hervorriefen.

Tabelle IV.

Zeit.	Winkel zwischen Blattstiel und Stengel.	Sinkt auf Reiz bis
7 U. 35″ Mrgs.	120°	72°
7 U. 44″ „	98	94°
7 U. 50″ „	117°	110°
7 U. 56″ „	124°	104°
8 U. 2″ „	125°	113°
8 U. 11″ „	123°	102°
8 U. 17″ „	121°	116°
8 U. 26″ „	125°	98
8 U. 35″ „	120°	109°

Von hoher Wichtigkeit ist es, festzustellen, wie sich die Biegungsfestigkeit des reizbaren und des bei andauerndem Reize unempfindlich gewordenen Gelenkes verhält, wenn der Blattstiel die gleiche Lage wie zuvor einnimmt. Es wurde dieses nach der von Brücke eingeschlagenen Methode festgestellt und es ergab sich, dass die Steifheit des Gelenkes durchaus die gleiche wie zuvor ist, wenn der Blattstiel bei fortgesetzter Berührung des Polsters sich zu derselben Höhe erhoben hatte, welche er vor der Reizung einnahm. Von zahlreicheren Versuchen sollen hier nur drei angeführt werden. Der kleinere der beiden Winkel wurde bei aufwärts, der grössere bei abwärts gerichteter Stellung der Pflanze abgelesen, während jedesmal der Blattstiel horizontal stand. Unmittelbar nach der auf Reiz erfolgten Senkung wurde die gleiche Winkeldifferenz zwei- bis dreimal so gross gefunden; ich unterlasse es indess, diese hier anzuführen. Bemerkt sei noch, dass die secundären Blattstiele und die Blättchen bei allen Messungen entfaltet waren.

1) Vor Reizung . . . . 138° — 123° = 15°.
Nach fortgesetzten Stössen . . . 135° — 120° = 15°.

2) Vor Reizung . . . . 122° — 102° = 20°.
Nach fortgesetzten Stössen . . . 124° — 106° = 18°.

3) Vor Reizung . . . . 159° — 128° = 31°.
Nach fortgesetzten Stössen . . . 160° — 128° = 32°.

Wie sich Polster, deren obere Hälfte entfernt ist, bei Application von genügend schnell aufeinander folgenden Stössen wie unverletzte Gelenke verhalten, so ist es auch mit der Biegungsfestigkeit jener, indem diese die gleiche vor Reizung und nach der unter wiederholter Berührung erfolgten Erhebung des Blattstieles ist. Beiläufig sei hier bemerkt, dass an solchen einseitig operirten Polstern zur Bestimmung der Steifheit des Gelenkes der Blattstiel zuerst an der aufwärts gerichteten Pflanze horizontal und darauf genau vertical abwärts gestellt wurde. Wenn nämlich das operirte Gelenk das Gewicht des unverletzten Blattes zu tragen hat, so ist aus mehrfachen Gründen eine völlige Umkehrung der Pflanze nicht gut auszuführen.

Wir wissen, dass die Reizbewegung und die damit Hand in Hand gehende Erschlaffung des Gelenkes in einer Flüssigkeitsabgabe der Zellen ihren Grund hat und erfahren also aus den mitgetheilten Versuchen, dass die zur Ausgleichung der Reizbewegung nöthige Wasseraufnahme auch dann erfolgt, wenn dauernd Stösse gegen das Gelenk gerichtet werden. Da wir ferner schon erfuhren, dass unter diesen Verhältnissen das den Blattstiel wieder erhebende Polster in gleicher Weise eine hellere Färbung annimmt, wie es die in Ruhe ihre Krümmung ausgleichende untere Wulsthälfte thut, so dürfen wir in beiden Fällen eine überhaupt gleiche Vertheilung der Flüssigkeit annehmen, wofür auch die übereinstimmende Steifheit der Gelenke spricht. Die gleich schnelle und gleich hohe Erhebung des geschlagenen und des in Ruhe gelassenen Polsters zeigt uns ferner, dass die bei der Wasseraufnahme thätigen Kräfte bei beiden in gleich energischer Weise thätig, also unabhängig von der Wiederherstellung des reizbaren Zustandes sind. Diese Regeneration kann an dem unter andauernder Berührung zur Ruhelage zurückgekehrten Polster schon 5 Minuten nach der Unterbrechung der Stösse geschehen sein, ohne dass irgend eine äusserlich sichtbar werdende Veränderung an dem Gelenke vor sich geht.

Dassen's[1]) Angabe, dass seine durch dreiviertelstündige Erschütterung unempfindlich gewordene Pflanze nach längerer Zeit ihre Blätter plötzlich gesenkt habe, um dann nach Erhebung derselben Reizbarkeit zu zeigen, muss auf einem Irrthum beruhen, da ich bei meinen zahlreichen Versuchen nie eine derartige Beobachtung machen konnte, gleichviel ob auf die Polster während kürzerer Zeit oder einige Stunden lang langsamer oder sehr schnell aufeinander folgende Stösse ausgeübt worden waren.

Ein weiteres Ergebniss unserer Experimente ist, dass der die Wasserabgabe bedingende Zustand nur transitorisch ist und sich durch andauernde Stösse, die kräftig genug sind, um jedenfalls an empfindlichen Polstern als Reiz zu wirken, nicht fixiren lässt, eben so wenig aber auch, wie ich noch zeigen werde, durch andere die Reizbarkeit sistirende, aber das Leben nicht vernichtende Mittel. Bei gleichen äusseren Bedingungen tritt die volle Grösse der Reizbewegungen nur nach einer gewisse Zeit dauernden Ruhe ein; wird das Gelenk in der Zwischenzeit berührt, so ist die Senkung des Blattstieles, also auch die Menge der ausgetretenen Flüssigkeit eine geringere. Dieses gilt auch für den Fall, dass der Blattstiel bereits auf seine vorige Höhe gestiegen war, wie wir es bei den in Intervallen von einigen Minuten aufeinander folgenden Stössen sehen. Die hierbei gemachte Beobachtung, dass das Gelenk gegen einige Stösse unempfindlich sein kann und bei einem folgenden, welcher in dem gleichen Tempo und mit gleicher Intensität folgt, eine Reizbewegung ausführt, lässt eine doppelte Möglichkeit zu. Entweder hatte sich zwar ein einer geringen Bewegungsgrösse entsprechendes Maass des specifisch reizbaren Zustandes rehabilitirt, allein eine Erschütterung ist nicht im Stande, die Reizbewegung auszulösen, oder es beginnt die Restauration des reizbaren Zustandes erst einige Zeit nach der Reizung. In diesem Falle würden also die keine Bewegung hervorrufenden Stösse zu einer Zeit eintreffen, in welcher die Regeneration des fraglichen Zustandes noch nicht begonnen hat. Da ich nun bei den hier in Betracht kommenden Experimenten wiederholt Reizbewegungen mit einer Senkung des Blattstieles von nur 2 Graden eintreten sah, woraus folgt, dass auch kleine Reizgrössen ausgelöst werden können, so müssen wir uns unbedingt für die zuletzt erwähnte Möglichkeit entscheiden. In einem solchen Verhalten liegt übrigens keineswegs etwas Auffallendes, da wir z. B. die Erhebung des Blattstieles, welche freilich nach unserer Darle-

---

1) Wiegmann's Archiv 1838. p. 350.

gung unabhängig von der Wiederherstellung der Reizempfänglichkeit ist, nach einer Reizung langsam beginnen, dann bis zu einem Maximum der Schnelligkeit zunehmen und nun allmälig wieder abnehmen sehen [1].

In den Versuchen, bei welchen die Stösse in solchem Intervall folgten, dass nicht ein jeder als Reiz wirkte, konnte die zwischen zwei eintretenden Reizungen liegende Zahl der Stösse eine ungleiche sein und ebenso war die Grösse der Bewegung oft ziemlich weit verschieden. Man würde indess sehr fehlen, wenn man hieraus folgern wollte, dass die Schnelligkeit der Restituirung des reizempfänglichen Zustandes hier überhaupt in keiner Beziehung zur Zeit stehe. Denn einmal waren die aufeinanderfolgenden Stösse zwar durch annähernd, aber doch nicht absolut gleiche Zeitintervalle getrennt und dann wurde auf eine Gleichhaltung der äusseren Verhältnisse zwar im Allgemeinen, aber doch nicht mit so scrupulöser Sorgfalt gesehen, wie sie zur Entscheidung der angeregten Frage nothwendig sein würde.

Schon lange bekannt ist es, dass Aether, Chloroform und voraussichtlich alle ähnlich auf den thierischen Organismus wirkende Körper die Reizbarkeit vorübergehend aufheben, ohne das Leben zu vernichten, wenn nicht die Einwirkung eine zu übertrieben lange ist. Wenn man ganze Pflanzen oder abgeschnittene Zweige von Mimosen in eine sehr stark mit Dämpfen von Aether oder Chloroform erfüllte Atmosphäre bringt, so kann die Reizbarkeit schon innerhalb weniger Minuten sistirt sein. Waren die Mimosen zuvor gereizt, so sieht man den Blattstiel dennoch sich continuirlich erheben, wenn auch die Reizbarkeit schon völlig aufgehoben ist. Es lässt sich dieses leicht an den Gelenken solcher Blattstiele feststellen, die der Stellung, welche sie vor dem Reiz einnahmen, wieder näher gerückt sind. Wenn diese nämlich nachweislich für Reizung völlig unempfindlich sind, so fahren sie dennoch fort, unter der mit Aether- oder Chloroformdämpfen erfüllten Glocke sich weiter zu erheben. Die Angabe Bert's [2], dass die Blattstiele beim Aetherisiren oder Chloroformiren in der Reizstellung verharren, ist entschieden unrichtig. Selbst die Blattstiele, welche sich schon einige Zeit in fester Ruhelage befanden, beginnen eine kleine aufsteigende Bewegung,

---

1) Siehe Bert, Mém. d. l'Acad. d. sc. phys. et nat. d. Bordeaux 1870. Bd. VIII. p. 41.

2) Mém. d. l. soc. d. sc. phys. et natur. d. Bordeaux 1866. p. 22 d. Separatabzuges.

wenn sich um dieselben, ohne dass Beleuchtung und Temperatur geändert wird, Chloroformdämpfe verbreiten und die Reizbarkeit vernichten. Die beobachtete Erhebung bewegte sich bei verschiedenen Objecten zwischen 5 und 15 Graden. Die nach Brücke's Methode vorgenommene Bestimmung der Biegungsfestigkeit des Gelenkes ergab mir an den chloroformirten Pflanzen ausnahmslos eine geringe, aber doch merkliche Zunahme der Steifheit. So fand ich z. B. die Differenz der beiden gemessenen Winkel bei einem Versuche vor der Chloroformirung zu 18 Grad, nachher zu 14 Grad, während der Blattstiel sich um 10 Grad erhoben hatte, ein andermal erhob sich der Blattstiel um 15 Grad bei der Chloroformirung und wurde vor dieser die Winkeldifferenz zu 30 Grad, nachher zu 25 Grad bestimmt. Es ist wohl als gewiss anzusehen, dass die vermehrte Biegungsfestigkeit allein ihren Grund in der mit der Verlängerung des unteren Polsters verbundenen Zunahme des Turgors der Zellen hat. Möglich, dass auch die Zellen der oberen Gelenkhälfte gleichzeitig ihre endosmotische Spannung vermehren, natürlich dann verhältnissmässig schwächer als die der unteren Wulsthälfte. Ich muss die Sache dahin gestellt lassen, da ich Versuche zur Entscheidung der Frage nicht anstellte. Bemerkt muss noch werden, dass bei meinen Experimenten sich die Blättchen beim Chloroformiren mit ihrer Oberfläche ein wenig, zuweilen auch bis zu einem Winkel von 45 Grad einander näherten. Etwas analoges, nämlich eine mehr oder weniger weit gehende Schliessung der Blättchen, während die Blattstiele sich erheben, findet auch statt, wenn Mimosen höheren Temperaturgraden ausgesetzt werden, welche die Wärmestarre herbeiführen können[1]) und nach Dutrochet[2]) auch bei Aufenthalt unserer Pflanze in einem luftleeren Raum. Wenn wir die Beobachtung beim Chloroformiren im Auge halten, dass mit dem Steigen der primären Blattstiele eine Zunahme der Steifheit des Gelenkes Hand in Hand geht, so würde in diesem Polster bei der Sistirung der Reizbarkeit eine relativ stärkere oder ausschliessliche Aufnahme von Flüssigkeit in der unteren Wulsthälfte eintreten, bei dem Blättchen hingegen die nicht reizbare Hälfte des Gelenkes diejenige sein, welche unter gleichen Verhältnissen die meiste Flüssigkeit aufnimmt, was indess erst dann als erwiesen anzusehen ist, wenn es feststeht, dass auch die Gelenke der Blättchen bei der fraglichen partiellen Einkrümmung an Biegungsfestigkeit gewinnen. Nachts erheben sich nach vorausge-

1) Sachs, Flora 1863. p. 454 ff.
2) Mém. pour. servir etc. 1837. Bd. I. p. 561.

gangener Senkung die Blattstiele über die Tagstellung, die Expansivkraft der unteren Wulsthälfte wächst also relativ am stärksten, während an den sich zusammenlegenden Blättchen die nicht reizbare Hälfte die am intensivsten sich verlängernde ist. Ein dem entsprechendes Verhalten zeigen die Versuche mit Chloroform.

Bei dem Erlöschen der Reizbarkeit in höherer Temperatur und im luftleeren Raume [1]) findet eine Erhebung des Blattstieles statt und auch die Stellungen, welche dieser nach eingetretener Kälte-, Trocken- und Dunkelstarre [2]) einnimmt, zeigen wenigstens, dass das Verhältniss der Expansionskraft der unteren und oberen Wulsthälfte sich nicht erheblich beim Erlöschen der Reizbarkeit ändert. Die Unabhängigkeit der Flüssigkeitsaufnahme von dem specifisch reizempfänglichen Zustand würde allerdings aus diesen Resultaten nicht mit Sicherheit abzuleiten sein, ich habe dafür aber durch das Verhalten der Gelenke bei andauernder Erschütterung und beim Chloroformiren schlagende Beweise beigebracht.

Wie bei in kurzen Intervallen aufeinanderfolgenden Stössen die Reizbarkeit nur in den unmittelbar berührten Gelenken erlischt, so ist auch die Wirkung von Chloroform und Aether eine rein locale, sie erstreckt sich, wie Versuche von Leclerc [3]) und Bert [4]) mit Mimosa zeigen, nur auf die unmittelbar den Dämpfen der genannten Stoffe ausgesetzten Blätter. In gleicher Weise tritt Dunkelstarre nur an den dem Licht entzogenen Blättern ein, während die anderen Blätter durchaus nicht leiden und so ist mit Sicherheit anzunehmen, dass auch die durch Temperaturextreme, durch Wasser- oder Sauerstoffmangel und durch andere Ursachen hervorgerufenen vorübergehenden Starrezustände localisirt bleiben werden.

Die Beschränkung der Dunkelstarre ausschliesslich auf die dem Licht entzogenen Pflanzentheile constatirte ich an Acacia lophanta und Oxalis stricta. Bei ersterer Pflanze war ein einzelnes Fiederblatt, bei letzterer ein beblätterter Zweig in einen Kasten geführt, in welchem eine möglichst vollkommene Dunkelheit herrschte, während die übrige Pflanze am Licht blieb. An den verdunkelten Blättern beider Pflanzen hörten die periodischen Bewegungen zu gleicher Zeit auf, wie an

---

1) Vgl. auch Kabsch, Bot. Ztg. 1862. p. 344. Meyen, Physiologie III. 1839. p. 492.

2) Siehe Sachs, Flora 1863. p. 451, 499 und 500.

3) Compt. rend. 1853. Bd. 37. p. 526.

4) Mém. d. l. soc. d. sc. phys. et natur. d. Bordeaux 1866. p. 22 des Separatabdruckes.

Pflanzen, welche daneben unter verdunkelnden Recipienten standen, auch die Reizbarkeit der Blättchen von Oxalis verschwand in beiden Fällen gleichzeitig.

Bei dieser Gelegenheit möge mir ein kleiner Excurs über die Ursache der Dunkelstarre gestattet sein. Dutrochet[1]) sucht dieselbe in einem Sauerstoffmangel und Sachs[2]) spricht sich bestimmter dahin aus, dass eine Ueberfüllung der Gewebe mit Kohlensäure die Dunkelstarre veranlassen möchte. Gegen diese Ansicht ist nun zunächst anzuführen, dass die dem Lichte entzogenen Pflanzen ihre Bewegungen noch längere Zeit fortsetzen, ja bei Oxalis stricta, die sich in einem sehr dunkeln Raume befand, sah ich erst nach 10 Tagen die Reizbarbarkeit, nach 13 Tagen die periodischen Bewegungen erlöschen[3]), obgleich in dieser Zeit die Temperatur zwischen 19 und 23° C. geschwankt hatte. Bei dem energischen Consum von Sauerstoff in den Pflanzen kann man aber wohl mit Gewissheit annehmen, dass schon nach zweitägiger Lichtentziehung der Kohlensäuregehalt der eingeschlossenen Gase sein Maximum erreicht, d. h. einem Gleichgewichtszustand zwischen Production und Diffusion dieses Gases entspricht. Der relative Kohlensäuregehalt ist aber in jedem Falle geringer in einzeln verdunkelten Blättern oder Zweigen, weil die am Licht bleibenden grünen Pflanzentheile Sauerstoff produciren, welcher durch Diffusion auch den im Dunklen verweilenden Blättern zu Gute kommt. Es werden diese aber in gleicher Zeit starr, wie Blätter an gänzlich verdunkelten Pflanzen und bei diesen kann der Eintritt der Dunkelstarre eine lange Zeit, wie bei Oxalis, in Anspruch nehmen. Es ist hier auch daran zu erinnern, dass Pflanzen in völliger Dunkelheit wachsen können, während Sauerstoffmangel das Wachsthum sofort sistirt.

Eine andere nahe liegende Vermuthung, dass der Eintritt der Dunkelstarre mit einem Verschwinden der in den Zellen vorhandenen endosmotisch wirksamen Stoffe zusammenhänge, wurde neuerdings von Bert[4]) vertreten. Hiergegen habe ich indess zu bemerken, dass in den völlig starren Gelenken bei Mimosa noch sehr viel Glycose enthalten und eine Abnahme dieser auf mikrochemischem Wege überhaupt nicht zu constatiren ist. Gleiches fand ich für die Blattpolster von

---

1) Mémoir. pour servir etc. 1837. p. 559 ff.

2) Flora 1863. p. 502.

3) Cohn's Angaben (Vhdg. d. schles. Ges. f. vaterl. Cultur 1859. p. 57) über das Verhalten von Oxalis im Dunkeln sind nicht richtig. Die Amplitude der Blattbewegung ist nur vermindert, nicht aufgehoben.

4) Mém. d. l'Acad. d. sc. phys. et natur. d. Bordeaux 1871. Bd. VIII. p. 51 ff.

Oxalis stricta, in denen der Gehalt an Glycose übrigens immer sehr viel geringer als bei Mimosa ist.

An Stelle der eben zurückgewiesenen Ansichten vermag ich nun freilich keine zufriedenstellende Erklärung zu setzen. Das einzige feststehende Factum ist, dass eine Pflanze nur dann im Stande ist, periodische und ebenso auf Reiz erfolgende Bewegungen auszuführen, wenn sie sich in Folge vorausgegangener Lichtwirkung im Zustande des Phototonus befindet [1]. In welcher Weise hier das Licht influirt, um den bewegungsfähigen Zustand zu induciren, davon wissen wir zur Zeit noch gar nichts.

Oxalis Acetosella.

Die zum Theile sehr bedeutende Reizbarkeit der Blätter exotischer Arten von Oxalis mit gefiederten Blättern ist schon lange bekannt. An einer einheimischen Art dieser Gattung, der Oxalis stricta, wurde die Empfindlichkeit für Reiz auch schon vor längerer Zeit von Brignoli de Brunnhof in Modena entdeckt. Dieser Autor machte eine bezügliche Mittheilung an Morren, von welchem die erste Publication über Reizbarkeit europäischer Arten der Gattung Oxalis herrührt. Morren [2] constatirte bei Oxalis Acetosella und corniculata, ausserdem noch bei einigen ausländischen Arten mit gedreiten Blättern eine Empfänglichkeit für Reizungen. Diese Mittheilung sowohl, als die Publicationen von Cohn und Batalin, auf welche ich noch gelegentlich verweisen werde, haben indess wesentlich nur den Einfluss von Aussen einwirkender Kräfte im Auge, ohne auf die Mechanik der Reizbarkeit näher einzugehen.

Die gedreiten Blätter von Oxalis sind in der Tagstellung horizontal ausgebreitet, oder bilden auch miteinander einen zenithwärts geöffneten stumpfen Winkel, in der Nachtstellung legen sich aber die Blättchen dem gemeinschaftlichen Blattstiel an [3]. Eine der äusseren Erscheinung nach gleiche Senkung führen auch die Blättchen bei fortgesetzter Erschütterung aus. Hierbei kann dann auch die Lamina auf ihrer Oberseite ein wenig concav werden, was bei Oxalis stricta im allgemeinen deutlicher hervortritt, als bei O. Acetosella, eine so weitgehende Zu-

---

1) Siehe Sachs, Experimentalphys. p. 43 und p. 490.
2) Bullet. de l'Acad. d. scienc. d. Bruxelles 1839. Bd. VI. p. 68.
3) Näheres siehe Sachs, Bot. Ztg. 1857. Nr. 46 und 47.

sammenfaltung wie sie Morren angiebt, konnte ich aber so wenig wie Cohn[1]) beobachten.

Die Reizbarkeit der Blattpolster beginnt bei Oxalis, wie auch bei Mimosa, schon vor völliger Entfaltung der Lamina. Unter den von mir untersuchten beiden Arten finde ich übereinstimmend mit Cohn O. stricta etwas reizbarer, als O. Acetosella. Doch sind die Gelenke dieser letzteren Art, auf welche sich meine Untersuchungen erstrecken, unter günstigen Verhältnissen so reizbar, dass man der Senkung der Blättchen ohne jede Mühe mit dem Auge folgen und eine Winkeländerung von 90 Grad sich innerhalb 1 bis 3 Minuten vollziehen kann. Zu der völligen Aufrichtung der auf Reiz gesenkten Blätter ist bei empfindlicheren Pflanzen eine Zeit von $^1/_4$ bis 1 Stunde nothwendig. Eine einmalige Erschütterung hat, im Gegensatz zu Mimosa, bei Oxalis nur eine partielle Senkung des Blattes zur Folge, um diese vollkommen zu machen, muss wiederholt gereizt werden, sei es nun, dass dieses durch Erschütterung des gemeinschaftlichen Blattstieles oder einzelner Blättchen, oder durch Berührung der unteren Hälfte des Blattgelenkes geschieht.

Die Gelenke, auf deren Krümmung bekanntlich allein die Senkung des Blattes beruht, bilden die unmittelbare Verbindung zwischen dem gemeinschaftlichen Blattstiel und der Lamina. Die Gestalt der Polster ist die eines etwas elliptischen Cylinders, dessen kleine Achse mit der Medianebene (Bewegungsebene) zusammenfällt und bei meinen Untersuchungsobjecten zwischen 0,5—0,6 Millim. maass, während die Länge des gerade gestreckten Polsters zwischen 0,6 und 1,0 Millim. sich bewegen mochte.

Der anatomische Bau bietet nichts von anderen Bewegungspolstern besonders Abweichendes. Das Gefässbündel ist auf der der oberen Wulsthälfte zugewandten Seite etwas rinnenförmig vertieft, besitzt ausserdem aber einen elliptischen Querschnitt, dessen grosse Achse die Medianebene senkrecht schneidet und mit der bei der Einkrümmung neutralen Fläche ziemlich zusammenfallen wird. Die parenchymatischen Zellen des Gelenkes sind weit kleiner, als die angrenzenden Zellen des Blattstieles und der Lamina. Das Parenchym besitzt in der oberen und unteren Gelenkhälfte eine gleiche Mächtigkeit und ist im gerade gestreckten Polster auch beiderseitig gleich gestaltet. Dieses gilt auch für die zarten Zellwände; die Angabe Ratschinsky's[2]),

1) Verhdlg. d. schles. Gesellsch. f. vaterl. Cultur 1859. p. 55.
2) Annal. d. sc. naturell. 1858. Bd. IX. p. 182.

nach welcher dieselben in der oberen Hälfte des Gelenkes dicker sein sollen, ist unrichtig. Hingegen strahlt vom Gefässbündel nach jeder der beiden Flanken eine auf dem Querschnitt aus 2 bis 4 Lagen bestehende Zellschicht aus, die namentlich in der Nähe des Gefässbündels viel dickere Membranen mit deutlichen Tüpfelkanälen erkennen lässt. Diese Zellschichten bilden untereinander einen nach der Oberseite des Gelenkes geöffneten sehr stumpfen Winkel und sind vermuthlich die wirkliche neutrale Zone zwischen dem oberen und dem unteren Schwellpolster. Doch dürften ähnliche auffallende Zellschichten nicht bei allen Arten von Oxalis vorhanden sein. Wie bei Mimosa finden sich auch hier zunächst um das Gefässbündel wenige Mantellagen von Parenchym mit kleinen luftführenden Intercellularräumen, während die sehr kleinen Intercellularräume in den nächstangrenzenden Parenchymschichten Flüssigkeit führen und weiter nach Aussen Zwischenzellräume überhaupt fehlen. Uebrigens sind in vielen, vielleicht in allen Gelenken von Blattstielen und Blättchen um das Gefässbündel luftführende Intercellularräume vorhanden, wie z. B. bei Phaseolus [1]), Robinia, Amicia, Trifolium.

Der Inhalt der Zellen gleicht dem gewöhnlicher chlorophyllführender Parenchymzellen. Die bei Mimosa vorkommenden Kugeln aus Gerbsäurelösung fehlen unserer Pflanze, während dieselben bei Oxalis stricta, wenn auch nicht in allen Parenchymzellen des Polsters, vorkommen. Hingegen findet sich auch als Zellinhalt von O. Acetosella Glycose, wenn auch nur in mässiger Menge.

Sowohl auf der oberen als unteren Seite des Polsters laufen furchenartige Vertiefungen, deren Zahl zwischen 3 und 6 schwanken kann, quer über das Bewegungspolster. Gegen die Flanken des Gelenkes werden die fraglichen Furchen undeutlich und können auch ganz verschwinden, oder man findet auch Faltungen der oberen und unteren Wulsthälfte durch sehr seichte Thälchen miteinander in Verbindung stehen. Uebrigens giebt es auch solche Furchen, welche nicht über eine ganze Polsterhälfte verlaufen. Macht das Blatt mit dem gemeinsamen Stiele einen Winkel von 60 bis 80 Grad, so sind die Furchen beider Hälften des Gelenkes meist ungefähr gleich stark vertieft (Fig. 5), wenn nun das Blatt sich bei Reiz oder auf Verdunkelung senkt, so werden jene auf der sich verkürzenden unteren Polsterhälfte zu tief einschneidenden Falten, während sie auf der oberen Wulsthälfte fast verschwinden (Fig. 6). Umgekehrt tritt eine Verflachung der

1) Vgl. Sachs, Bot. Ztg. 1857. p. 795 und Taf. XII. Fig. 7.

Thälchen auf der unteren und eine Vertiefung auf der oberen Wulsthälfte ein, wenn das Blatt sich erhebt und zwar um so mehr, je höher das Blatt sich aufwärts richtet.

Diese Faltungen sind Folge der Compression einer Wulsthälfte durch das relativ überwiegende Expansionsstreben der anderen Gelenkhälfte und machen sich auch in der Gestalt der Zellen bemerklich. Unger[1]) beobachtete schon an Oxalis Caprina, dass bei der Nachtstellung die Zellen der unteren Wulsthälfte sich senkrecht zur Achse des Gelenkes verlängern. Auch Sachs[2]) machte auf die Zusammenpressung der concav werdenden Polsterhälfte aufmerksam, welche man auch unter seinen Augen vor sich gehen lassen kann, wenn man zu an aus dem Gelenke geschnittenen Lamellen Wasser treten lässt, indem dann die Expansionskraft der bei dem Schnitte dicker ausgefallenen Seite überwiegt.

Die Compression der unteren erschlafften Wulsthälfte lässt sich auch bei Oxalis, sowie ich schon bei Mimosa zeigte, aus dem Verhalten der isolirten Schichten demonstriren. Nimmt man einen Medianschnitt aus einem auf Reiz eingekrümmten Gelenke und trennt das Parenchym der unteren Wulsthälfte durch einen senkrechten Schnitt ab, so sieht man dasselbe seine nach Aussen concave Krümmung mehr oder weniger ausgleichen, oder auch sogar nach Innen (der Gefässbündelseite) ein wenig concav werden. Nach Einlegen der Schnitte in Wasser wird durch Expansion des parenchymatischen Gewebes die Epidermis wieder concav gekrümmt. In diesem Falle waren also, wie es auch bei Mimosa schon gezeigt wurde, die äusseren Schichten die am meisten passiv zusammengepressten. In der oberen Wulsthälfte sind hingegen die äusseren Mantellagen stark passiv gedehnt, da eine Abtrennung des parenchymatischen Gewebes eine sogleich eintretende und beim Einlegen in Wasser sich noch etwas steigernde concave Krümmung auf der Epidermisseite nach sich zieht. Nimmt man an einem durch Reizung gekrümmten Gelenke durch einen schnellen Schnitt die obere Hälfte möglichst hinweg, so findet sogleich eine kleine Erhebung des Blattes statt, die noch einige Zeit lang mässig schnell fortschreitet und eine endliche Ausgleichung der Falten zur Folge hat. Das Blatt ist dann ziemlich steil aufgerichtet und das Gelenk reagirt auch jetzt noch auf Reiz. Bei der freilich nur ziemlich geringen Senkung des Blattes findet eine merkliche Faltung der erschlaffenden unteren Wulsthälfte

1) Grundzüge d. Anatom. u. Physiol. d. Gewächse 1846. p. 118.

2) Botan. Zeitung 1857. p. 796.

nicht mehr statt, denn die wesentliche Ursache der Compression, der durch das Ausdehnungsstreben der oberen Gelenkhälfte ausgeübte Druck, existirt nicht mehr, das Gewicht des Blattes vermag aber keine ansehnliche Zusammenpressung zu Stande zu bringen.

Bei der geringen Länge des Blattgelenkes und der ansehnlichen, unter Umständen 90^0 überschreitenden Excursion des Blattes muss natürlich die Verkürzung oder Verlängerung der beiden antagonistischen Hälften eine sehr ansehnliche werden. Wir wollen dieses uns einmal an einem concreten Falle klar machen, welcher nach den Annahmen, die wir zu Grunde legen, geringere Werthe giebt, als sie bei kräftigen Polstern und grosser Amplitude der Blattbewegung zu Stande kommen. Es möge ein Polster eine Länge von 1 Millim. und einen Durchmesser in Richtung des Medianschnittes von 0,5 Millim. haben und die neutrale Achse bei der Einkrümmung in der Mitte liegen. Das gerade Polster krümme sich nun so, dass das Blatt eine Senkung von 80 Grad erfährt und wir fragen, um wie viel kürzer der mit der Epidermis der Unterseite zusammenfallende Kreisbogen als die neutrale Achse ist, wenn die Dicke des Polsters sich bei der Incurvation nicht geändert hat. Die Rechnung ergiebt dann, dass der fragliche Bogen mit kleinerem Krümmungsradius ziemlich genau um 0,35 Millim., also annähernd um $^1/_3$, sich bei der Einkrümmung des Polsters verkürzern musste, um ebensoviel musste sich aber natürlich der entsprechende Bogen der Oberseite verlängern, wenn auch deren Dicke als unverändert angenommen wird. Wie wir schon wissen, kommt die sehr ansehnliche Verkürzung der gereizt werdenden unteren Wulsthälfte zum Theil durch Compression derselben zu Stande. Deshalb ist aber auch nach Entfernung der den erschlaffenden unteren Gelenkwulst zusammenpressenden oberen Hälte des Polsters die auf Reiz erfolgende Senkung des Blattes ausserordentlich reducirt und selbst unter dem durch das Blattgewicht ausgeübten Druck habe ich nie eine Senkung von mehr als 8 Grad eintreten gesehen.

Gerade oder gekrümmte Polster in Alkohol geworfen bewahren ihre Form und an Schnitten aus den erhärteten Polstern kann man die Art und Weise der Zusammenpressung der Zellen übersehen, welche auch bei Zutritt von Wasser nur theilweise ausgeglichen wird. Beiläufig bemerkt, ist Faltung der unteren Wulsthälfte und die Gestalt der comprimirten Zellen an den bei Reiz- oder Nachtstellung eingekrümmten Polstern übereinstimmend.

Bei eingekrümmten Polstern findet man an Medianschnitten in der convexen Oberseite die Höhe der parallelogrammatischen Parenchym-

zellen (in Richtung senkrecht zum Gefässbündel) ein wenig ansehnlicher als die Breite, im übrigen sind die Zellen, von der kleinzelligeren Epidermis abgesehen, in Gestalt und Grösse nicht zu sehr verschieden. Zum Verständniss der Zellgestalten in der unteren Wulsthälfte ist zu beachten, dass die Sohle der bei der Einkrümmung des Polsters tief einschneidenden und bis zur Berührung der Flächen verengten Falten dem Gefässbündel sich näherte, die zwischenliegenden Zellen also in zum Gefässbündel senkrechter Richtung comprimirt wurden, an Höhe folglich abnahmen. (Vergl. hierzu Fig. 5.) Da die Sohle der Furche scharf eingeknickt ist, so müssen natürlich die Epidermiszellen sowohl, als die naheliegenden Parenchymzellen entsprechende Biegungen ausführen. Zwischen der Sohle zweier Furchen sind, wie leicht einzusehen ist, die Zellen am stärksten comprimirt und ihre Breite kann hier um das Doppelte abgenommen, ihre Höhe um ungefähr ebensoviel zugenommen haben. Von diesen Verengerungen strahlen dann die Zellen fächerartig gegen die Epidermis der hervorspringenden Hügel und nimmt natürlich nach Aussen die Breite der Zellen zu, ihre Höhe aber ab. Ein ähnliches Bild zeigen auch die Zellen von ihrer stärksten Verengerung zwischen der Sohle der Falten gegen das Gefässbündel hin, denn die diesem näher liegenden Parenchymlagen erlitten ja eine geringere Verkürzung, weil der sie durchschneidende Bogen einem Krümmungsradius angehört, welcher von dem Halbmesser der gekrümmten neutralen Achse weniger verschieden ist. Unmittelbar an einer Falte sind die Zellen am unregelmässigsten gestaltet, wie ja auch nicht anders zu erwarten ist, da sie hier in verschiedenen Richtungen wirkenden und je nach der Lage der Zellen variirenden Druckkräften unterworfen sind. Je nach der Grösse der Einkrümmung des Polsters findet man natürlich alle Zwischenstufen von der eben in's Auge gefassten extremen Compression bis zu der vorhin für das expandirte obere Polster beschriebenen Zellgestaltung. Bei Mimosa sind, wie früher beschrieben wurde, in dem auf Reiz gekrümmten unteren Polster die Furchen nur sehr wenig vertieft und dem entsprechend ist auch um dieselben eine nur unbedeutende unregelmässige Gestaltung der Zellen zu bemerken.

Wegen der an den Gelenken von Oxalis bei der Krümmung sich einstellenden starken Faltungen sind Messungen über Veränderungen der Dicke, resp. des Volumens des Polsters, wie ich sie bei Mimosa ausführte, hier unmöglich. Eine Beobachtung des Austrittes von Flüssigkeit an den quer durchschnittenen Polstern ist aber der Kleinheit dieser und der langsamen Reizbewegung halber unthunlich. Dennoch wird

man a priori nicht daran zweifeln, dass die Reizbarkeit bei Oxalis auf gleichen Ursachen beruht, wie bei Mimosa. Dieses darf man aber wohl als gewiss ansehen mit dem Nachweis, dass auch bei Oxalis mit der Reizbewegung eine ansehnliche Erschlaffung des Gelenkes verbunden und dass, wie ich schon bemerkte, auch hier die concav werdende Polsterhälfte die allein reizbare ist.

Die Bestimmung der Biegungsfestigkeit des Gelenkes geschah nach der von Brücke bei Mimosa angewandten Methode an in Wasser stehenden Blättern. Die Blattstiele waren des Festhaltens halber in durchbohrte, ziemlich schmale Cylinder von Kork oder Hollundermark geführt, welche oben konisch endeten, wodurch es möglich wurde, die Blattstiele bis dicht an das Gelenk festzuklemmen, ohne dass die Blättchen an ihrer Senkung gehindert wurden. Den fraglichen Cylinder befestigte ich dann auf einen ein Gläschen verschliessenden Kork, durch welchen die Blattstiele in Wasser ragten. In der herzförmigen Ausbuchtung des zu untersuchenden Blättchens war eine abgebrochene Nadelspitze mit Lack derart befestigt, dass sie die gerade Verlängerung der Mittelrippe bildete. Diese Spitze erlaubte eine genaue Ablesung an einem ausgeschnittenen Gradbogen, der in geeigneter Weise so aufgestellt war, dass sein Mittelpunct so genau als irgend möglich in die Mitte des Gelenkes fiel. Die Verschiebung dieses bei der Krümmung und der daraus entspringende Fehler bei der Ablesung der Winkel ist bei der geringen Länge des Gelenkes klein genug, um bei unseren Versuchen vernachlässigt werden zu können. Die Senkung des Blattes betrug bei meinen Versuchen 70 bis 90 Grad und wurden die nöthigen Reizungen durch Berührung des Gelenkes mit einer Nadel oder meist durch leichtes Schlagen der Lamina ausgeführt. Die Winkeldifferenz, welche bei der aufwärts und abwärts gewandten Stellung des Blattes, bei jedesmaliger horizontalen Lage dieses gefunden wurde, war in allen Fällen nach der Reizung $1\frac{1}{2}$ bis $2\frac{1}{2}$ mal so gross als zuvor. Ich fand diese Winkeldifferenz z. B. vor Reizung zu 5 Grad, nachher zu 9 Grade, in andermal vor Reizung zu 7 Grad, nachher zu 16 Grad. Ich unterlasse es, hier weitere von meinen in grösserer Zahl angestellten Messungen mitzutheilen, die alle ein ähnliches Resultat ergaben.

Eine Fortleitung des Reizes, wie sie bei Mimosa bekannt ist, lässt sich bei der wenig reizbaren Oxalis Acetosella (auch stricta), wie schon Cohn[1]) bemerkte, nicht wahrnehmen. Selbst dann, wenn man das Gelenk eines Blättchens vorsichtig durchschneidet, ist eine Senkung

1) L. c. p. 56.

an den anderen Blättchen nicht zu finden, auch wenn man Vorrichtungen getroffen hat, um eine Winkelveränderung von einem Grad sicher ablesen zu können.

Die Blättchen von Oxalis sind auch dann noch reizbar, wenn in den Gelenken alle Luft durch Wasser ersetzt ist, ebenso vollführen sie auch jetzt noch periodische Bewegungen. Die Reizbarkeit der mit Wasser injicirten Blätter ist nur etwas vermindert, nach der Reizbewegung findet man aber so gut wie an nicht injicirten Blättern eine Erschlaffung des Gelenkes. Unsere Pflanze weicht hier von Mimosa pudica ab, welche sich durchaus unempfindlich erweist und auch keine periodischen Bewegungen mehr ausführt, wenn die luftführenden Intercellularen des Gelenkes völlig mit Wasser erfüllt sind. Bleibt ein injicirter Zweig im Dunkeln, so kehrt die Reizbarkeit der Gelenke niemals wieder, beim Verweilen am Licht wurden manche Gelenke wieder etwas empfindlich, doch erholten sich dieselben nie ganz und die Objecte gingen in nicht zu langer Zeit zu Grunde. Der Wiedergewinn einer geringen Reizbarkeit bei Beleuchtung beruht darauf, dass sich die Zwischenzellräume theilweise wieder mit etwas Gas anfüllten, was bei der stattfindenden Sauerstoffproduction leicht erklärlich ist. Deshalb ist natürlich nur das Verhalten der im Dunkeln gehaltenen Objecte maassgebend und meine Angaben über die Blätter von Oxalis beziehen sich auch nur auf solche, die dem Lichtzutritt entzogen waren. Dieses ungleiche Verhalten von Oxalis und Mimosa kann aber durchaus nicht dahin gedeutet werden, dass der Reizbarkeit bei beiden verschiedene innere Ursachen zu Grunde liegen, denn auch die Staubfäden der Cynareen bleiben reizbar, wenn die grossen lufterfüllten Intercellularräume mit Wasser injicirt sind. Für diese Staubfäden werde ich aber eine bei der Reizung stattfindende Wasserabgabe aus den Zellen direct nachweisen. Eine plausible Erklärung, warum bei Mimosa und nicht bei den anderen genannten Objecten die Injection mit Wasser die Reizbarkeit aufhebt, weiss ich freilich nicht zu geben und auf Erörterung von Möglichkeiten verzichte ich hier.

Eine vollkommene Ersetzung der Luft durch Wasser ist übrigens an den unverletzten Blättern, schon der schwierigen Permeabilität der Cuticula halber, keineswegs schnell zu bewerkstelligen und es bedarf wiederholten Evacuirens und Wiederherstellung des Luftdruckes, um nach einigen Stunden sein Ziel zu erreichen[1]. Bei den einfach in Wasser getauchten Zweigen und Blättern von Mimosa wird die Luft in

1) Vgl. Unger, in Sitzbg. d. Wiener Academie 1854.

den hiermit erfüllten Intercellularräumen des Gelenkes nicht oder doch erst nach sehr langer Zeit durch Flüssigkeit ersetzt und die unter diesen Verhältnissen noch einige Zeit fortdauernde Bewegungsfähigkeit der Polster widerspricht also nicht unserer Erfahrung.

Werden ausgebreitete Blättchen von Oxalis aus diffusem Licht in directes Sonnenlicht gebracht, so erfolgt eine schnelle Senkung derselben, die mindestens ebenso schnell vor sich gehen kann, wie unter günstigsten Verhältnissen die Senkung auf wiederholte Reizung. Cohn[1]), welcher diesen Einfluss der Sonnenstrahlen zuerst beobachtete, beschränkt sich auf Mittheilung des Factums, Batalin[2]) hingegen behauptet in jüngster Zeit, dass das intensive Licht einen gleichen Einfluss wie Finsterniss habe, indess schneller wirke. Hierbei hat dieser Autor aber vergessen, dass ein ansehnlicher Beleuchtungswechsel auf sensitive Pflanzen wie ein mechanischer Reiz wirken kann, wie solches von Mimosa pudica bekannt ist, und in der That ist die Senkung der Blättchen durch Sonnenlicht mit einer ebenso grossen Erschlaffung des Polsters verbunden, wie sie bei der auf Reizung erfolgten Senkung beobachtet wird. Daraus geht aber hervor, dass die durch Sonnenstrahlen hervorgerufene Blattbewegung eine Reizbewegung ist und von der Nachtstellung, bei welcher nachweislich die Biegungsfestigkeit des Gelenkes zunimmt, verschieden ist. Freilich verharren die Blättchen von Oxalis bei intensivem Sonnenschein in gesenkter Lage[3]), eine Erscheinung, die noch einer speciellen durch Versuche zu entscheidenden Erklärung bedarf. Ich hatte die bezügliche Frage anfänglich nicht im Auge und später lieferte die Jahreszeit kein geeignetes Material mehr. Es scheint mir aber nicht unwahrscheinlich, dass nach Ausführung der Reizbewegung die Steifheit des Gelenkes wieder zunimmt, vielleicht sogar die der Tagstellung übertrifft, damit dann also der Nachtstellung vergleichbar wird. Sollte diese Vermuthung sich bestätigen, dann würden wir hier einen Fall kennen lernen, wo ein Optimum der Lichtintensität bei intensiver Beleuchtung überschritten wird und diese dann auf das Expansionsstreben der beiden Hälften in analoger Weise, wie Abnahme der Beleuchtung, vom Optimum ab gezählt, wirkt. Die experimentelle Entscheidung ist um so mehr nothwendig, als zwar auch bei anderen beweglichen Blättern, wie bei denen von Mimosa pudica, Acacia lophanta u. a., bei intensiven Sonnenschein eine mehr oder

---

1) Vhdlg. d. schles. Gesellsch. f. vaterl. Cultur 1859. p. 58
2) Flora 1871. p. 243.
3) Batalin, l. c. p. 243.

weniger weitgehende Schliessung der auch bei Schlaf sich mit ihren oberen Flächen zusammenlegenden Blättchen stattfindet, bei Robinia aber z. B., welche bekanntlich während der Nacht ihre Blättchen mit der Rückenfläche aneinander legt, die Blättchen bei intensivem Sonnenschein sich gleichfalls mit ihren oberen Flächen nähern.

Schon Cohn[1]) bemerkt, dass nicht die durch die Sonnenstrahlen hervorgerufene Erwärmung es sein könne, welche die Senkung der Blättchen veranlasse, weil diese auch dann stattfand, wenn ein nebenhängendes Thermometer keine hohe Temperatur anzeigte und auch Batalin[2]) bestätigte dasselbe, indem er die Sonnenstrahlen zuvor durch ein mit kaltem Wasser gefülltes Gefäss passiren liess. Einen ähnlichen Versuch habe ich auch gemacht und zwar in der Weise, dass ich die Blätter in ein grösseres Glas brachte, welches gleichzeitig mit dem Zutritt der Sonnenstrahlen in Eiswasser gestellt wurde. Ein neben den Blättern hängendes Thermometer mit geschwärzter Kugel fiel in diesem Falle von 27 auf $25^1/_2{}^0$ C. und dennoch ging die Senkung der Blättchen wie bei ungehindertem Zutritt der Sonnenstrahlen vor sich. Wir können hieraus den Schluss ziehen, dass auch für unser Auge sichtbare Strahlen die fragliche Senkung hervorrufen werden; wie sich indess hierbei die Strahlen verschiedener Wellenlänge verhalten, habe ich nicht festzustellen versucht[3]).

Dass die Senkung der Blättchen und die damit verbundene Erschlaffung der Gelenke nicht die Folge einer gesteigerten Transpiration ist, folgt schon aus den Versuchen, bei denen Erwärmung vermieden war. Am einfachsten lässt sich dieses aber dadurch zeigen, dass man die Blattfläche bis auf einen mittleren schmalen, als Index dienenden Theil wegschneidet und diesen beiderseitig bis dicht an das Gelenk mit Spirituslack überzieht. Auch jetzt ist die Wirkung der Sonnenstrahlen eine gleiche wie zuvor und ebenso ist auch das eingekrümmte Polster erschlafft. Bei Versuchen, welche Batalin in der Weise ausführte, dass über die Gelenke Streifen von dunkelm Papier gelegt waren, fand er dennoch eine Senkung des Blattes. Unser Autor meint, dass hier ein durch die Sonnenstrahlen auf die Blattlamina ausgeübter Reiz sich auf das Gelenk fortpflanze[4]). Habe ich auch keine Versuche zur Ent-

---

1) L. c. p. 58.

2) Flora 1871. p. 246.

3) Die von Sachs (Bot. Ztg. 1857. p. 812) angestellten Versuche haben nur die Wirkung verschiedener Spectralfarben auf Tag- nnd Nachtstellung im Auge, nicht den Effect gesteigerter Intensität von Strahlen.

4) Batalin, l. c. p. 244.

scheidung dieser Frage gemacht, so möchte ich doch die Richtigkeit der Ansicht Batalin's bezweifeln. Denn die Fähigkeit der Fortleitung des Reizes ist bei den Blättchen von Oxalis, wie ich schon früher bemerkte, eine sehr geringe und man kann in die Lamina des Blattes Einschnitte machen, welche auch Gefässbündel treffen, ohne dass das Polster darauf merklich reagirt, vorausgesetzt natürlich, dass Erschütterung vermieden wurde. Die Experimente Batalin's bieten aber auch gar keine Garantie, dass die Steigerung der Helligkeit des zu den beschatteten Polstern tretenden Lichtes bei Besonnung nicht eine solche war, dass eben hierdurch die Senkung veranlasst werden konnte.

Temperaturschwankungen beeinflussen übrigens die Bewegung der Blättchen von Oxalis in ziemlich auffallender Weise. Eine Steigerung der Temperatur innerhalb gewisser Grenzen veranlasst stets eine Senkung der Blättchen, welche aber nur allmälig erfolgt und bei demselben Blatte je nach der Tageszeit variirt. Als ich Blätter von Oxalis aus einer Zimmertemperatur von 18—20° C. plötzlich, unter Gleichhaltung der Beleuchtung, in einen Heizapparat brachte, dessen Temperatur sich zwischen 30—31° C. hielt, konnte ich im günstigsten Falle eine Senkung der Blättchen um 80 Grad innerhalb einer Zeit von $^1/_2$ Stunde beobachten. Eine solche Schnelligkeit und Energie der Blattbewegung wurde aber nur bei Versuchen beobachtet, welche spät am Nachmittage oder gegen Abend angestellt wurden, bei den von mir am Morgen ausgeführten Experimenten senkten sich unter gleichen Verhältnissen die Blättchen höchstens um 50 Grad, oft nur um 10 bis 15 Grad. Eine Erschlaffung des Gelenkes war bei dieser Senkung, selbst wenn sie sehr gross war, nicht zu bemerken. Bei den in schon früher beschriebener Weise nach Brücke's Methode ausgeführten Messungen wurden vor und nach der Blattbewegung gleiche Winkeldifferenzen abgelesen, oder diese wurden um sehr geringe Werthe vermindert, öfters aber vermehrt gefunden.

Auch wenn die Temperatur allmälig steigt, bewirkt sie eine Senkung des Blattes. Bei einem derartigen Versuche wurde durch Anheizen eines Zimmers die Temperatur von 12 bis 1 Uhr Mittags von 18 auf 29° C. gesteigert. Es war so möglich, die 8 der Untersuchung unterworfenen Blätter genau an derselben Stelle zu lassen und auch ohne jede Veränderung der äusseren Bedingungen die zur Bestimmung der Biegungsfestigkeit des Gelenkes dienenden Messungen vorzunehmen Die Senkung der zuvor ausgebreiteten Blättchen betrug zwischen 20 und 70 Grad; die nach Brücke's Methode gemessene Winkeldifferenz wurde nie vermindert gefunden, sie war entweder vorher und

nachher die gleiche oder hatte sich nach der Senkung um etwas, nie aber um die Hälfte vermehrt. Ein Blättchen ist z. B. um 65 Grad gesunken, die Winkeldifferenz ist vorher 5°, nachher 6°; ein anderes Blättchen ergiebt vorher eine Winkeldifferenz von 7°, nachher von 9° und ist um 50 Grad gesunken.

Die durch Temperatursteigerung erfolgte Senkung der Blättchen geschah also nicht in Folge einer Erschlaffung der unteren Wulsthälfte, diese bekommt vielmehr ein etwas vermehrtes Expansionsstreben, wie drei Versuche übereinstimmend ergaben, welche nach Entfernung der oberen Wulsthälfte angestellt wurden. Die Blättchen, welche mit dem Blattstiel nach unten geöffnete Winkel von 140 bis 170 Grad bildeten, erhoben sich bei einer allmäligen Steigerung der Temperatur von 19 bis 28° C. (von 2 bis 3 Uhr Nachmittags) um 2 bis 3 Grade. Ob nun bei den Blättern, welche durch gesteigerte Temperatur sich senkten, das Gelenk um ebensoviel an Steifheit gewinnt, wie bei der nächtlichen Senkung, dieses vermag ich im Augenblick nicht zu sagen, da ich versäumte, die Biegungsfestigkeit der Polster derselben Blättchen nach Annahme der wirklichen Nachtstellung zu untersuchen, ein Punct, den ich zunächst nicht im Auge hatte. Nach Hofmeister[1]) ist freilich die Zunahme der Steifheit des Gelenkes von Oxalis Acetosella bei der Nachtstellung eine unverhältnissmässig grössere, da der nach Brücke gemessene Unterschied der Winkel bei der Nachtstellung um das mehrfache vermehrt gefunden wurde. Es muss also specieller Untersuchung überlassen bleiben, hier eine Entscheidung zu treffen.

Was die beschleunigtere und ansehnlichere Senkung der Blättchen von Oxalis anbelangt, wenn die Temperatursteigerung am Nachmittage oder gegen Abend vorgenommen wird, so steht diese keineswegs ohne Analogie. Es ist leicht zu beobachten, wie die Blättchen unserer Pflanze sowohl, als auch periodisch bewegliche Blätter anderer Gewächse weit schneller eine der Nachtstellung zustrebende Bewegung ausführen, wenn sie am späten Nachmittag oder gegen Abend verdunkelt werden, als wenn die plötzliche Entziehung des Lichtes am Morgen geschieht. Es ist augenscheinlich gegen Abend schon eine gewisse Prädisposition zu den Veränderungen im Gelenke da, welche die die Nachtstellung hervorrufende Bewegung veranlassen.

Die Senkung der Blättchen von Oxalis erfolgt übrigens nur innerhalb gewisser Temperaturgrenzen; bei weiterer Steigerung beginnen die Blättchen sich wieder, jedoch in geringerem Maasse zu heben. Die

1) Pflanzenzelle p. 329.

Temperaturgrenze, bei der dieses geschah, war bei verschiedenen Blättern nicht ganz gleich, sie wurde zwischen 30 und 36° C. gefunden. Es schliessen sich hier einige Fragen an, deren Beantwortung ich zur Zeit nicht vor hatte und so begnüge ich mich mit diesem kurzen Hinweis.

Die Staubfäden der Cynareen.

Bekanntlich sind die Staubfäden von Centaurea-Arten, ebenso aber auch von allen darauf untersuchten Cynareen für Reiz empfänglich. Entfernt man die Zipfel und den bauchig angeschwollenen Theil der Corolle, um die Staubfäden frei zu legen, so wird man diese bald wieder in den reizempfänglichen Zustand zurückgekehrt finden und es ist nun möglich, die habituelle Erscheinung der Reizbewegung zu übersehen. Die fünf Staubfäden sind in der Ruhe bogenförmig nach Aussen gewölbt, auf eine Berührung gleichen sie die Krümmung aber mehr oder weniger vollkommen aus und erfahren ausserdem noch eine Verkürzung, welche ein Herabziehen der aus den verwachsenen Staubbeuteln gebildeten und den Griffel umgebenden Röhre zur Folge hat. Das Maass der Verkürzung ist bei verschiedenen Arten ein sehr ungleiches, übrigens auch individuell verschieden und in hohem Grade von dem Entwickelungsstadium abhängig [1]).

Die ersten Spuren der Reizbarkeit findet man ungefähr zu der Zeit, wo die Zipfel der Blüthchen den Anfang zum Auseinanderweichen machen, von da ab nimmt die Reizbarkeit bis zum Aufspringen der Antheren zu. Zu dieser Zeit sieht der Griffel der bekanntlich protandrischen Cynareen noch nicht aus der Staubbeutelröhre hervor, kann aber in Folge der Reizung der Staubfäden mit seiner Spitze zum Vorschein kommen, oder diese wird wenigstens der Oeffnung der Antherenröhre genähert. Unter diesen Umständen schiebt dann der Griffel mit seiner, aus den noch parallel liegenden Narbenschenkeln gebildeten Spitze den schon in der Antherenröhre befindlichen Blüthenstaub vor sich her, welcher auf diese Weise bei einer Reizung der Staubfäden in ziemlicher Menge aus der Staubbeutelröhre hervorgestossen werden kann. Unmittelbar nach einer Contraction der Staubfäden beginnt wieder deren Verlängerung, welche an genügend reizbaren Objecten schon nach einigen Minuten den Staubfäden die vor dem Reiz innegehabte Länge zurückgegeben haben kann.

---

1) Abbildungen bei Unger, Bot. Ztg. 1862. Taf. IV.

Mit dem Verstäuben der Antheren nimmt aber die Reizbarkeit schnell ab und ist schon merklich vermindert, wenn der Griffel aus der Antherenröhre hervorgewachsen ist, um nun in nicht ferner Zeit ganz zu verschwinden. Einige Zeit nachdem das Maximum der Reizbarkeit überschritten ist, beginnt eine allmälige Verkürzung des Staubfadens, welche endlich die Länge des unempfindlich gewordenen Filamentes auf die Hälfte reducirt haben kann, so dass die stattgehabte Verkürzung ohne weiteres wahrzunehmen ist.

Die Reizung eines einzelnen Filamentes hat allein dessen Verkürzung zur Folge und hieraus ergiebt sich leicht, wie der Griffel und ebenso die anderen Staubfäden sich concav nach der Seite der gespannten Sehne biegen müssen. In unverletzten Blüthchen wird auf diese Weise auch eine entsprechende Einkrümmung hervorgerufen, wodurch die anderen Staubfäden, sei es gleichzeitig oder nacheinander, an die Corolle stossen und auf diese Weise gereizt werden. Kommen nun die gegenüberliegenden Staubfäden zur Contraction, so wird jetzt die Bewegung eine nach entgegengesetzter Richtung wie zuvor zielende sein; die Bewegung der Blüthchen kann aber auch eine kreisende werden, wenn die successive Reizung der anderen Staubfäden in kreisförmiger Richtung fortschreitet.

Häufig trifft der Griffel in der Antherenröhre auf ansehnliche Widerstände und eine Reizung der Staubfäden hat dann zur Folge, dass durch die Contraction dieser der Griffel eine grössere oder geringere Beugung erfährt. Eine solche kommt auch dann zu Stande, wenn der durch Wachsthum sich verlängernde Griffel den in der Antherenröhre ihm entgegenstehenden Widerstand nicht zu überwinden vermag. Der sich mehr und mehr biegende Griffel drängt sich dann allmälig zwischen zwei Staubfäden hindurch und die fünf gewaltsam gestreckten Filamente bilden nun die Sehne des durch die elastische Kraft des Pistills gespannten Bogens. Bei fortgesetzter Krümmung dieses kann es auch vorkommen, dass der Griffel hervorschnellt und dann also die Antherenröhre überhaupt nicht durchwächst.

Was oben über die Aeusserlichkeit der Reizbewegung mitgetheilt wurde, ist bereits im Jahre 1764 von Covolo[1]) in vortrefflich klarer

---

1) Der Naturforscher, Halle 1775. Stück 6. p. 216—237 und Tafel VII. Es ist dieses eine deutsche Uebersetzung des italienischen Originals: G. conte dal Covolo, Discorso della irritabilità d'alcuni fiori nuovamente scoperta Firenze 1764. Die Schreibweise »Lavola«, wie sie bei Kölreuter sich findet, ist jedenfalls nicht richtig.

Weise beschrieben und auch durch recht schöne Abbildungen veranschaulicht worden. Unser Autor bemerkte auch schon, dass abgeschnittene Stücke der Staubfäden noch reizbar sind, auch entging ihm nicht, dass die Filamente sich ansehnlich dehnen lassen und losgelassen sich wieder zu der anfänglichen Länge zurückziehen. Auf die Angabe Covolo's, dass sich die auf Reiz verkürzenden Staubfäden nicht verdicken, ist natürlich kein Gewicht zu legen, da mit den damals zu Gebote stehenden Hülfsmitteln unmöglich eine so geringe Verdickung bestimmt werden konnte, wie sie dann stattfinden müsste, wenn der Cubikinhalt des Staubfadens sich bei der Contraction nicht verändern würde. Wie die ganze Arbeit von einer musterhaften Umsicht zeigt, so beweist sich auch am Schlusse unser Autor als ein ächter Empiriker. Er wolle, so sagt er, mit dem Worte Reizbarkeit nichts anderes gesagt haben, als dass eine Kraft zu Grunde liege, von welcher die Mechaniker keine Erklärung zu geben vermöchten, deshalb sei auch nicht gesagt, dass die Staubfäden Muskeln seien. Covolo stellte seine Untersuchungen an Centaurea calcitrapoides an, doch bemerkt er noch von weiteren 9 Linne i'schen Genera, unter denen z. B. Cynara, Onopordon, Carduus, dass sie reizbare Staubfäden besässen.

Die einfache Entdeckung, dass die Saubfäden von Centaurea reizbar sind, wurde freilich schon 1653 von Borel[1]) gemacht und 1719 von Camerer[2]) (Camerarius) bestätigt.

Durch Covolo angeregt, beschäftigte sich auch Kölreuter[3]) mit den reizbaren Staubfäden der Cynareen, ohne indess Covolo zu erreichen. Nach Kölreuter sollen auch Hieracium sabaudum, sowie Cichorium Intybus und Endivia, bekanntlich zu den Cichoraceen gehörige Pflanzen, reizbare Staubfäden besitzen, welche auch für eine Anzahl exotischer Arten des Genus Scabiosa angegeben werden. Von den speciell genannten Arten konnte ich keine prüfen, bei einer Anzahl darauf untersuchter Arten der Gattungen Scabiosa und Knautia finde ich aber nie eine Spur von Reizbarkeit an den Staubfäden. Ebensowenig kann ich eine Reizbewegung an den Staubfäden von Hieracium sabaudum bemerken, während die Filamente von Cichorium Intybus, wenn auch nur schwach, reizbar sind.

---

1) Histor. et observ. medico physicar. Cent. IV. observ. 100. Cent. I. p. m. 104. Citirt nach Medicus' Pflzphysiol. Abhandlungen 1803. p. 61.

2) Ephemer. Natur. Curios. Cent. IX und X. p. 194. Citirt nach Medicus, l. c. p. 63.

3) Dritte Fortsetzung der vorläufigen Nachrichten von einigen das Geschlecht der Pflanzen betreffenden Versuchen 1766. p. 125 ff.

Bei Gmelin[1]) ist die Darstellung der Reizbewegung mangelhaft und theilweise unrichtig. Unser Autor beschränkte sich wesentlich darauf, festzustellen, welche Compositen reizbare und welche unempfindliche Staubfäden besitzen. Bei allen untersuchten Cynareen wurden reizbare Staubfäden gefunden; in wie weit die positiven Angaben über Reizbarkeit bei anderen Abtheilungen angehörigen Compositen richtig sind, lasse ich dahingestellt, einige Angaben, wie die für Anthemis Cotula und Matricaria Chamomilla sind entschieden unrichtig.

Sowerby und Treviranus[2]) berichten nichts Neues. Aus Morren's Mittheilung ist zu bemerken, dass dieser Autor, freilich ohne einen jeden eigentlichen Grund, die Elasticität der Staubfäden in der Epidermis, die Bewegungskraft in den eingeschlossenen verlängerten Zellen sucht.

Die Contraction, welche die Staubfäden von einigen Centaurea-Arten auf Reiz erfahren, sowie die mit dem Alter allmälig eintretende Verkürzung wurde von Cohn[3]) ihrer Grösse nach durch mikrometrische Messungen genauer festgestellt. Bei Centaurea americana und macrocephala ergab sich für die auf Reiz erfolgende Contraction ein Mittelwerth von 12 Procent (Extreme 3—29 Procent). Bei der Verkürzung soll nach Cohn das Gefässbündel gänzlich inactiv sein und sich in die umgebenden lufterfüllten Räume biegen, das übrige Gewebe wirke aber nur vermöge seiner Elasticitätskraft verkürzend, während die Verlängerung durch eine an den Zellinhalt gebundene Expansionskraft zu Stande komme und zwar vermuthet unser Autor, »dass der lebendige proteinreiche Inhalt, der Primordialschlauch, das eigentlich Contractile in der Zelle sei«[4]).

Später hat Cohn seine Ansicht nun freilich geändert und wenn in der ersten Abhandlung ein Vergleich mit Muskeln nur mit Zurückhaltung angestellt wurde (p. 33), so wird in der zweiten[5]) Publication eine Analogie mit Muskeln mit Bestimmtheit ausgesprochen. »Es scheinen demnach die contractilen Zellen der Cynareen in ihrem Verhalten wesentlich mit den glatten Muskeln übereinzustimmen und wir kennen

---

1) Irritabil. vegetabil. in singulis plantarum partibus explorata, Tübingen 1768. p. 24 ff.

2) Physiologie d. Gewächse 1838. Bd. 2. p. 765.

3) Abhandlungen der schles. Gesellschaft für vaterl. Cultur 1861. Heft I. p. 1—48.

4) L. c. p. 28.

5) Cohn, Zeitschrift f. wiss. Zoologie von Siebold und Kölliker 1863. Bd. XII. p. 366—371.

nunmehr Pflanzen, welche in der That (so zu sagen) Muskeln besitzen« (p. 370). Die Annahme Cohn's, dass die auf Reiz erfolgende Verkürzung auf einer Querwellung der Zellwände beruht, ist unrichtig, da diese Faltung, wie schon Unger nachwies, nur im absterbenden Staubfaden sich findet. Uebrigens legt Cohn der in hohem Grade elastischen Cuticula für die Contraction hohen Werth bei. Ob bei der auf Reiz erfolgenden Verkürzung des Staubfadens eine Verdickung eintrete, liess Cohn in seiner ersten Publication (p. 29) dahingestellt, in der späteren Arbeit findet sich aber die Angabe, dass die gemessenen Staubfäden sich um $\frac{11}{1000}$ bis $\frac{21}{1000}$ Linie (Wiener?) verdickt haben, leider fehlt aber dabei die Angabe der wirklichen Dicke und der Verkürzung des Staubfadens.

Nach einer Theorie von Kabsch[1]) sollen Haare und Papillen sowohl bei Staubfäden der Cynareen, als auch einer Anzahl anderer reizbarer Organe eine wesentliche Bedeutung für die Reizbarkeit haben. Diese ohne einen irgend triftigen Grund aufgestellte Ansicht bedarf einer speciellen Widerlegung nicht, bemerken muss ich aber, dass die Angabe, die mit nur sehr wenig entwickelten Haaren besetzten Staubfäden von Echinops und Onopordon seien auch nicht reizbar, unrichtig ist, indem Echinops bei Berührung eine geringe, Onopordon aber eine ansehnliche Reizbewegung ausführt. Die auch reizbaren Filamente von Xeranthemum annuum besitzen übrigens gar keine Haare und Papillen.

Nach Unger[2]) soll sich das Volumen des auf Reiz sich contrahirenden Staubfadens von Centaurea nicht vermindern, die Contraction also auf einer reinen Formänderung der Zellen beruhen. Der Staubfaden soll bei der Verkürzung nur an Dicke (in radialer Richtung bezüglich der Blüthenachse) nicht an Breite (in tangentialer Richtung) gewinnen. Wir werden später sehen, dass selbst Unger's eigene Messungen seinen Schluss nicht erlauben. Die Ursache der Contraction liegt nach Unger nur in der Elasticität der gedehnten Zellmembranen, die der Expansion aber habe ihren Sitz im Protoplasma, welches auf Reiz in Folge noch unbekannter Veränderungen der Elasticität der Membranen freies Spiel lasse.

Hofmeister[3]) bestätigte die Angaben Unger's bezüglich der Dickenzunahme der Staubfäden von Centaurea. Da unser Autor aber diese Verdickung als nicht ausreichend erkennt, um die durch die Ver-

---

1) Botan. Zeitung 1861. p. 27 ff.

2) Botan. Zeitung 1862. p. 112 ff. und Botan. Zeitung 1863. p. 350 ff.

3) Pflanzenzelle p. 310.

kürzung bedingte Volumenabnahme auszugleichen, so nimmt er eine Compression der in den Intercellularräumen enthaltenen Luft an. Ob Hofmeister nebenbei die Zellen auch Flüssigkeit abgeben lässt, ist aus seiner Darstellung nicht sicher zu entnehmen. Die Expansivkraft soll ihren Sitz in dem zwischen Epidermis und Gefässbündel liegenden Parenchym haben und indem dieses auf einen Reiz erschlaffe, erfolge die Contraction durch die elastische Kraft der passiv gedehnten Epidermis. Hofmeister constatirte auch, dass bei Reizung der Staubfäden von Centaurea die Steifheit sich vermindert.

Zu meinen Untersuchungen dienten vorzüglich die Staubfäden von Cynara Scolymus und Centaurea Jacea. Die Filamente der genannten Arten sind 4 bis 6 Millim. lang, dabei aber wesentlich breiter als dick. Bei Cynara misst der tangentiale Durchmesser des Staubfadens im Mittel 0,42, der radiale 0,2 Millim., bei Centaurea Jacea ergaben sich als Mittelwerthe für die gleichen Durchmesser 0,24 und 0,14 Millim. Auf der dem Griffel zugewandten Seite findet sich eine sanft ausgebuchtete Rinne, so dass der Querschnitt des Filamentes eine etwas nierenförmige Gestalt besitzt. Uebrigens verbreitern sich die Staubfäden von ihrer Insertion in der Corolle aus allmälig ein wenig, um dann ziemlich gleich breit zu bleiben und erst nahe an den Antheren sich gegen diese hin wieder etwas zu verschmälern. Oberhalb der Insertion der Staubfäden der beiden genannten Arten in die Corolle sind die Filamente nur mit papillenförmigen Haaren versehen, die bei Cynara am Staubfaden überhaupt keine grössere Entwicklung erreichen, während der übrige Theil der Filamente von Centaurea mit den bekannten, aus zwei Epidermiszellen entspringenden Haaren besetzt sind[1]).

Die Anatomie der Staubfäden der Cynareen und anderer untersuchter Compositen stimmt in den wesentlichen Zügen überein. Die Mitte des Querschnittes nimmt ein Gefässbündel[2]) ein, welches ein mässiges Areal occupirt und zwischem diesen und der Epidermis liegt ein aus cylindrischen, in Längsreihen angeordneten Zellen bestehendes Parenchym, welches ansehnliche mit Luft erfüllte Intercellularen zwischen sich lässt und dessen Querwände immer ziemlich genau senkrecht gegen die Längsachse gerichtet sind. Diese Parenchymzellen sind bei Centaurea Jacea etwa 4 bis 6 mal, bei Cynara Scolymus ungefähr 2 bis 3 mal so lang als breit. Die Epidermiswände sind immer an

1) Abbildungen z. B. bei Unger, Bot. Ztg. 1862 und 1863.

2) Dieses Gefässbündel setzt sich nicht aus zweien zusammen, wie Kabsch (Bot. Zeitung 1861. p. 34) angiebt.

der freien Aussenfläche ziemlich stark excentrisch verdickt und mit einer ansehnlichen Cuticula überzogen; namentlich bei Cynara sind Verdickung und Cuticula bedeutend ausgebildet. Das Gefässbündel besitzt in seiner mittleren Partie eine, freilich immer ziemlich geringe Anzahl von Schrauben und Ringgefässen, im Uebrigen besteht es aus engen cylindrischen Zellen.

Bei Centaurea Jacea besitzen alle parenchymatischen Zellen, von der verdickten Aussenfläche der Epidermis abgesehen, sehr zarte Wände, ebenso die Zellen des Gefässbündels, ja selbst die Wandungen der Gefässe sind von geringer Dicke. Die Membranen des Parenchyms in den Staubfäden von Cynara haben indess eine merkliche Dicke, wenn sie auch immerhin noch zart zu nennen sind; auch die Zellen des Gefässbündels besitzen hier etwas stärkere Wände. Diese lassen an den Parenchymzellen deutliche Tüpfelräume erkennen und erscheinen an Längsschnitten mehr oder weniger rosenkranzförmig, namentlich wenn die Zelle verkürzt, die Membran also nicht oder nur wenig gedehnt ist. Mit Lösung von Chlorzinkjod werden die Wandungen der Parenchymzellen von Cynara und Centaurea blau gefärbt, ebenso auch die Zellen des Gefässbündels mit Ausnahme der Wände der Gefässe selbst, welche, wie die Cuticula, eine gelbe Färbung annehmen.

Wir wollen hier auch gleich einen orientirenden Blick auf den anatomischen Bau der Corollenröhre werfen. In dieser treffen wir 10 Gefässbündel, von denen je zwei in radialer Richtung voreinander gestellt sind. Die 10 Gefässbündel trennen sich an der Vereinigungsstelle von Fruchtknoten und Corolle von einander und treten in der Blumenkrone nie mehr in Verband. Das innere der zwei voreinander stehenden Gefässbündel geht in den Staubfaden, das äussere setzt seinen Verlauf in der Corolle fort. Bei Centaurea Jacea finden sich fünf sehr grosse Luftlücken, welche durch Zellmauern getrennt sind, die aus je zwei Gefässbündeln und dem sie vereinigenden Parenchym gebildet werden. Bei Cynara sind diese Luftlücken nur mässig entwickelt, bei dieser Pflanze aber, wie auch bei Centaurea Jacea, findet man zwischen allen Parenchymzellen in gewöhnlicher Weise lufterfüllte mässig grosse Intercellularräume. Diese communiciren mit den gleichfalls lufterfüllten Zwischenzellräumen des Staubfadens, der allmälig mit der Corolle verschmilzt. In dem Connectiv der Staubbeutel sind die Intercellularräume sehr klein, übrigens auch luftführend.

Als Inhalt der Parenchymzellen findet man ein die Zellflüssigkeit umgebendes Wandprotoplasma von nur mässiger Mächtigkeit, in welchem der ziemlich grosse Zellkern liegt. Von diesen ausstrahlende

Protoplasmabänder sind immer nur in geringer Zahl vorhanden oder fehlen auch ganz. In dem Protoplasma der Parenchymzellen lässt sich, wie schon Unger[1]) fand, eine wenn auch langsame Rotation erkennen, während bekanntlich in den Haaren der Staubfäden von Centaurea eine ziemlich lebhafte Protoplasmaströmung stattfindet. An den Filamenten von Centaurea Jacea kann der Inhalt der Parenchymzellen, namentlich wenn die luftführenden Intercellularen mit Wasser injicirt sind, gut übersehen werden, während dieses bei Cynara, der nicht sehr durchsichtigen Cuticula halber, nicht so vollkommen möglich ist.

Die Parenchymzellen der Staubfäden von Cynara und Centaurea Jacea enthalten nur sehr wenig Gerbsäure, wohl aber eine ziemliche Quantität von Glycose. Der Nachweis ist in der gewöhnlichen Weise leicht zu führen, indem man Stücke der Staubfäden zur Untersuchung wählt. Die Kupferlösung dringt von den beiden Schnittflächen aus ein und nach dem Behandeln mit Kali findet man entsprechend weit das reducirte Kupferoxydul. Beiläufig bemerkt, löst sich in der erwärmten Kalilösung die Cuticula von den Verdickungsschichten der Epidermis ab und umgiebt dann als kürzerer Schlauch das sich verlängernde parenchymatische Gewebe. Es sei hier noch bemerkt, dass sich auch bei nicht reizbaren Staubfäden, wie denen von Helianthus annuus, Lilium superbum u. a., eine reichliche Menge Glycose in den parenchymatischen Zellen findet.

Ehe wir uns nun den Messungen über Zunahme von Dicke und Breite bei der Verkürzung des Staubfadens zuwenden, ist vorauszuschicken, dass die Staubfäden sich an allen Stellen verkürzen. Diese Verkürzung ist freilich, wie eine geringe Anzahl von Messungen mir zeigten, dicht an der Insertion des Staubfadens und in nächster Nachbarschaft des Connectives etwas, jedoch nicht viel schwächer, als an dem übrigen Filamente. An diesem aber zeigten meine Messungen keine bei der auf Reiz erfolgenden Verkürzung besonders bevorzugte Zone. Bei Cynara verlängert sich das Connectiv eine kleine Strecke rückwärts über die Antheren hinaus. An diesem, auch im anatomischen Bau mit dem Connective wesentlich übereinstimmenden Verbindungsstücke findet, wie die Messungen ergaben, keine Verkürzung bei Reizung des Staubfadens statt.

Alle Messungen wurden an Staubfäden vorgenommen, welche durch Entfernung der Corolle frei gelegt waren. Die Corollenröhre war dabei an auf Objectträger geklebte Korkstücke festgesteckt und

---

1) Bot. Zeitung 1863. p. 352.

hier durch Torf feucht gehalten. Handelte es sich um Messungen der Dicke (des radialen Durchmessers bezüglich der Blüthenachse), so wurde allein der dem Objectiv zugewandte und die Beobachtung störende Staubfaden entfernt. Dann war es meine nächste Aufgabe, die Stellung des zu messenden Staubfadens so zu reguliren, dass dessen radiale Achse in der Gesichtsfeldebene lag und vor allen Dingen die zur Messung dienenden Marken vor und nach dem Reiz völlig genau einstanden. Es wurde dieses immer durch einen vorläufigen Versuch festgestellt, was auch bei Messungen der Breite (des tangentialen Durchmessers) des Filamentes geschah. In letzterem Falle war kein Staubfaden entfernt und der zu messende stand dem Objectiv so zugewandt, dass seine grössere quere Achse in die Gesichtsfeldebene fiel. In allen Fällen war der Griffel nicht entfernt, weil dieser eine Senkung oder Verschiebung der bei Reiz erschlaffenden Staubfäden möglichst verhindert. Die Reizung geschah immer durch leichte Berührung mit einer Nadel.

Als fixe Puncte bei dem Messen dienten Ecken oder Spitzen an mit Tusche aufgetragenen Puncten oder auch bei Cynara ein papillenförmiges Haar, bei Centaurea irgend ein brauchbarer Punct an der Basis des Haares. Dass nur auf möglichst gleichem Querschnitt stehende Marken zur Anwendung kamen, versteht sich von selbst. Wie wir wissen, ist der Querschnitt der Staubfäden etwas nierenförmig und ist es deshalb nur dann möglich in der Medianebene (der radialen Ebene des Staubfadens) zu messen, wenn man eine aus der Rinne hervorsehende Papille oder einen fixen Punct an einem analog gestellten Haare als Marke wählt. Bei meinen Versuchen wurden die Messungen über Dickenzunahme absichtlich sowohl in den medianen und nahe liegenden Ebenen, als auch in solchen hiermit parallelen Ebenen angestellt, welche das Gefässbündel gar nicht durchschnitten.

War ein Object zu einer Messung hergerichtet, dann wurde es $1/4$ bis $1/2$ Stunde in einem feuchten Raume gehalten, um nun eine Bestimmung der Breite oder Dicke vor und nach Reiz vorzunehmen. Darauf kam das fragliche Object wieder eine gleiche Zeit in den feuchten Raum und wurde nun an schon bei der ersten Herrichtung angebrachten Marken die Verkürzung des Staubfadens in der Zone bestimmt, in welcher die zur Messung des Querdurchmessers benutzten Marken gelegen waren. Die im besten Reizzustand befindlichen Staubfäden gehen nach einer Reizung, wie auch die Versuche Cohn's[1]) zeigen, immer fast

1) Abhdlg. d. schles. Gesellsch. f. vaterl. Cultur 1861. Heft I. p. 9.

genau auf die frühere Länge zurück, die in der angeführten Weise ausgeführten Messungen besitzen also in jedem Falle eine für unsere Zwecke ausreichende Genauigkeit. Andere Staubfäden als solche, welche sich ihrer Entwicklung nach in dem besten Reizungszustand befanden, kamen überhaupt bei diesen Messungsversuchen nicht zur Verwendung.

Da die Staubfäden sehr bald nach der auf Reiz erfolgten Contraction sich wieder zu verlängern beginnen, so muss die Messung schnell beendet werden und eben deshalb ist eine sorgfältige Vorrichtung der Staubfäden durchaus nothwendig. Die meisten meiner Messungen waren innerhalb 10 Secunden, von der Reizung ab gerechnet, vollendet, die, welche vor Ablauf von 20 Secunden nicht beendet werden konnten, wurden überhaupt verworfen.

Die Messungen über Veränderung der Dicke und Breite der Staubfäden sind bei einer nicht ganz 100 fachen und 200 fachen Vergrösserung mit demselben durch Schraube beweglichen Ocularmikrometer angestellt. Ein Theilstrich dieses entspricht bei 100 facher Vergrösserung 0,00885 Mill., bei 200 facher 0,0045 Millim.

Die Messungen über Verkürzung wurden bei einer annähernd 50-fachen Vergrösserung (1 Theilstrich = 0,016 Mill.) ausgeführt[1]. Der Messungsfehler weicht auch hier, wie ich durch oft wiederholte Versuche feststellte, nie um mehr als einen halben Theilstrich von dem Mittelwerth ab.

Es sollen hier zunächst die bei den Messungen gewonnenen Resultate mitgetheilt werden:

Cynara Scolymus.

Breitenmessungen.

Tabelle V.

Vergrösserung 100. Ein Theilstrich = 0,00885 Millim.

Gemessene Theilstriche Vor Reizung	Gemessene Theilstriche Nach Reizung	Zunahme (+) oder Abnahme (—) der Breite in Procenten	Verkürzung in Procenten
53	53	0	17
55,5	56	+ 0,9	12
58	59,5	+ 0,9	15
59	60	+ 1,7	15
51	51	0	14
56	55,5	— 0,9	13
54	54,5	+ 0,9	10
50	50,5	+ 1,0	9
52	52	0	12

1) An dem ungereizten und convex nach Aussen gewölbten Filamenten misst man natürlich die Sehne des zwischen den Marken befindlichen Bogenstückes. Da die contrahirten Staubfäden sich gerade strecken, so wird die Verkürzung ein we-

Dickenmessungen.

Tabelle VI.

Vergrösserung 200. Ein Theilstrich = 0,0045 Millim.

Gemessene Theilstriche Vor Reizung	Gemessene Theilstriche Nach Reizung	Zunahme der Dicke in Procenten	Verkürzung in Procenten	Verhältniss von Verdickung und Verkürzung
50	51,5	+ 3	10	1 : 3,3
58	59	+ 1,8	14	1 : 7,8
57	57	0	13	0 : 13
60	61	+ 1,7	18	1 : 10,6
59	60	+ 1,7	15	1 : 8,8
52	53,5	+ 2,9	9	1 : 3,1
56,5	58,5	+ 3,5	12	1 : 3,4
54,5	54,5	0	10	0 : 10
58	59	+ 1,8	8	1 : 4,4
54	56	+ 3,7	11	1 : 3
48	49	+ 2,1	13	1 : 6,2
		Mittel:	12,1	1 : 8,2

Centaurea Jacea.

Breitenmessungen.

Tabelle VII.

Vergrösserung 200. Ein Theilstrich = 0,0045 Millim.

Gemessene Theilstriche Vor Reizung	Gemessene Theilstriche Nach Reizung	Zunahme (+) oder Abnahme (—) der Breite in Procenten	Verkürzung in Procenten
57	57,5	+ 0,9	8
64	64	0	21
62	61,5	— 0,8	10
56	55,5	— 0,9	15
53	53	0	11
65	65,5	+ 0,8	18
56,5	57	+ 0,9	16

nig zu gering gefunden. Bei Messungen von Strecken von 1 bis 1½ Millim. ist aber die Differenz zwischen Sehne und Bogen, dessen Krümmungsradius an den Filamenten bis zu 5 Millim. betragen kann, so gering, dass der hieraus entspringende Fehler für uns ohne jede Bedeutung ist. Denn selbst zu einer Sehne von 2 Millim. gehört bei 5 Millim. Krümmungsradius ein Bogen von 2,0135 Millim. Länge und unter gleichen Verhältnissen zu einer Sehne von 1 Millim. ein Bogen von 1,0016 Millim. Länge.

Dickenmessungen.

Tabelle VIII.

Vergrösserung 200. Ein Theilstrich = 0,0045 Millim.

Gemessene Theilstriche Vor Reizung	Gemessene Theilstriche Nach Reizung	Zunahme der Dicke in Procenten	Verkürzung in Procenten	Verhältniss von Verdickung und Verkürzung
26	27	+ 3,8	14	1 : 3,7
33	34	+ 3,0	12	1 : 4
30	30,5	+ 1,7	22	1 : 12,9
27	27,5	+ 1,9	11	1 : 5,8
37	38	+ 2,7	8	1 : 3
33	33	0	13	0 : 13
32	32,5	+ 1,6	16	1 : 10
37,5	38	+ 1,3	10	1 : 7,7
34	36	+ 5,9	14	1 : 2,4
26	26,5	+ 1,9	17	1 : 8,9
		Mittel:	13,7	1 : 7,9

Aus den in Tabelle 5 und 7 mitgetheilten Messungen sehen wir, dass die Breite der Staubfäden sich bei der Verkürzung nicht, oder jedenfalls nicht wesentlich ändert. Bei Centaurea Jacea ist aus den Versuchen (Tabelle 7) bestimmt zu entnehmen, dass, wie es schon Unger fand, eine selbst geringe Verbreiterung bei der Contraction überhaupt nicht eintritt. Denn hier wurde bei der Ablesung vor und nach der Reizung ebenso oft eine Vermehrung, als Verminderung um $1/2$ Theilstrich gefunden. Dagegen weisen die mit Cynara Scolymus erhaltenen Messungsresultate auf eine, freilich kaum nennenswerthe Verbreiterung hin. Unter 9 Messungen wurde hier nur einmal eine Abnahme um $1/2$ Theilstrich gefunden, zweimal fielen die abgelesenen Werthe vor und nach Reizung gleich aus, während bei den übrigen Versuchen eine Zunahme um $1/2$, ja selbst um 1 Theilstrich nach der Contraction sich ergab. Stellen hiernach unsere Messungen eine Verbreiterung auch nicht ausser Zweifel, so zeigen sie doch das mit Gewissheit, dass, wenn eine solche wirklich stattfindet, die Breitenzunahme nur eine so geringe ist, dass man füglich dieselbe kaum zu beachten hat.

Bei Centaurea Jacea und Cynara Scolymus, ebenso auch bei Centaurea versicolor und Onopordon illyricum, an denen ich eine Anzahl hier nicht mitgetheilte Messungen vornahm, findet eine Dickenzunahme bestimmt statt, die aber stets sehr viel zu gering ist, um die durch die Verkürzung bedingte Volumenabnahme auszugleichen. Denn wenn der Cubikinhalt und die eine der Achsen gleich bleibt, ändert sich bekannt-

lich, sowohl bei Cylinder, als Parallelepiped die andere Achse und die Höhe im umgekehrten Verhältniss. Bei einer Verkürzung von 14 Procent müsste dann die variable Achse, in unserem Falle also die Dicke, um 16,3 Procent zunehmen, während sowohl bei Cynara als Centaurea die durchschnittliche Dickenzunahme nur den achten Theil der Verkürzung erreicht. Diese Dickenzunahme ist aber auch weit geringer, als sie sein müsste, falls beide Achsen gleichmässig wüchsen, also eine Zunahme um 7,7 Procent erfahren würden, wenn eine Verkürzung des Cylinders von 14 Procent einträte. Verbreiterung und Verkürzung würden hier im Verhältniss von 1 : 1,8 stehen, während 1 : 2,4 (Tab. 8) erst das nächststehende Verhältniss ist, welches überhaupt in einem Einzelfalle erreicht wurde.

Bei den Dickenmessungen machte es die auf der Innenseite des Filamentes befindliche Rinne, wie schon früher auseinandergesetzt wurde, unmöglich, die Marken so zu wählen, dass gleichzeitig der factische Durchmesser in der medianen oder einer naheliegenden parallelen Ebene gemessen wird. Da in allen Fällen die Entfernung der Marken so gering gewählt wurde, als es unter den obwaltenden Verhältnissen irgend thunlich war, so wird, um dem factischen Durchmesser in der gemessenen Ebene zu entsprechen, die Anzahl der Theilstriche wohl meist nur um etwa 5, sicher aber nie um 10 reducirt werden müssen. Da ein solcher Abzug natürlich in gleicher Weise an den vor, als nach der Verkürzung gefundenen Theilstrichen vorgenommen werden muss, so fallen die wirklichen procentischen Werthe der Verdickung freilich etwas höher aus, als sie in unserer Tabelle erscheinen. Eines Eingehens auf diese Correction bedarf es indess nicht, weil auch nach derselben unsere Zahlen noch ebenso vollkommen beweisen, dass mit der Verkürzung des Staubfadens eine sehr ansehnliche Verminderung des Volumens eintritt. Für einen Theil der Dickenmessungen ist übrigens der, aus dem erörterten Grunde anzubringende Abzug geringer als 5 Theilstriche, nämlich für die Dickenmessungen, welche in von der Mitte des Staubfadens weiter abliegenden Ebenen vorgenommen wurden. In den Tabellen habe ich die Lage der Ebene, in welcher die gemessene Linie lag, nicht näher angegeben, da sich dieselbe ohnehin nur sehr annähernd beurtheilen liess und an den Messungsresultaten kein Unterschied zu bemerken ist. Ebenso ist in den Tabellen nicht angeführt ob die Marken auf einem in der Mitte oder nach den Enden des Staubfadens zu liegenden Querschnitt angebracht waren. Denn einmal befand sich der fragliche Querschnitt zwischen den beiden zur Bestimmung der Verkürzung dienenden Marken und dann ist auch die Grösse der Contraction

an verschiedenen Stellen des Staubfadens eine gleiche, wenn wir von den beiden Enden absehen, an welchen Messungen der Querdurchmesser überhaupt nicht angestellt wurden.

Ob eine bestimmte Beziehung zwischen dem Maasse der Verkürzung und der Dickenzunahme für verschiedene Staubfäden existirt, scheint nach den Ursachen der Verdickung, welche ich erst später behandeln kann, nicht nothwendig. Jedenfalls ist eine derartige Beziehung aus unseren Tabellen nicht zu ersehen und könnte dieses auch dann nicht sein, wenn eine solche Beziehung factisch besteht, denn gegenüber den in der Methode selbst liegenden Fehlern, sind die gemessenen Differenzen zu gering. Es würde keinen Zweck haben, wenn ich hier verschiedene mögliche kleine Fehlerquellen erörtern wollte, die unabhängig von der Genauigkeit der Ablesung sind. Es genügt eine Durchsicht der Tabellen um die Brauchbarkeit meiner Messungen für unsern vorliegenden Hauptzweck festzustellen und ferner gaben mir vergleichende Messungen mit Beibehaltung derselben Marken nie eine grössere Abweichung als um $^1/_2$ Theilstrich von dem Mittelwerthe. Entscheidender aber sind die Versuche, welche mit verschiedenen, aber nahe neben einander liegenden Marken an demselben Staubfaden vorgenommen wurden. Nachdem an demselben Staubfaden die Marken für drei in Richtung der Dicke des Filamentes zu messende Linien hergestellt waren, kam das in früher beschriebener Weise hergerichtete Object in einen feuchten Raum und wurden dann mit Intervallen von $^1/_2$ Stunde die Messungen der drei Linien succesive ausgeführt. Mit anderen Staubfäden angestellte Versuche zeigten, dass sich die Grösse der Verkürzung bei dieser Behandlung im Laufe der nöthigen Zeit nicht wesentlich verändert hatte. Im Ganzen wurden drei Staubfäden einer vergleichenden Dickenmessung unterworfen und hierbei ergab sich, dass die an jedem derselben für die Dickenzunahme bei der Contraction gefundenen drei Werthe im höchsten Falle um 1,5 Theilstrich von einander, also um 0,75 Strich vom Mittel abwichen. Das ist ein Resultat, wie man es unter den gegebenen Umständen nur immer erwarten kann, und wenn es nun auch möglich ist, dass die Abweichung vom Mittel bei vermehrten Versuchen sich einmal auf einen Theilstrich belaufen kann, so ist für unsere Zwecke genügende Genauigkeit der Messungsmethode doch damit völlig erwiesen. Uebrigens geht auch aus den mitgetheilten Tabellen selbst hervor, dass die Messungsfehler jedenfalls innerhalb einer Amplitude von 2 Theilstrichen liegen. Denn in diesem Falle müssen die Fehler sich innerhalb 4 Procent bewegen, wenn, wie es annähernd in Tabelle 5, 6 und 7 der Fall ist, die Zahl der factisch

abgelesenen Theilstriche 50 beträgt, ist diese aber 33,3 . . ., was so ziemlich in Tabelle 8 zutrifft, so darf die mögliche Amplitude der Fehler 6 Procent nicht überschreiten. Die genannten Tabellen kommen diesen Anforderungen völlig nach.

Wie ich schon früher mittheilte, nimmt Unger eine reine Formänderung der Zellen bei der Contraction der Filamente an und glaubte dieses durch seine Messungen erwiesen, welche ihm eine beträchtliche und unbedingt zu hohe Verdickung der Staubfäden ergaben, während die Breite unverändert gefunden wurde. Letzteres nun hat Unger bei der Berechnung des Rauminhalts des verkürzten Staubfadens ausser Acht gelassen und kommt deshalb zu unrichtigen Werthen, welche ein annähernd gleiches Volumen vor und nach der Contraction ergeben. Unser Autor berechnet nämlich den Cubikinhalt des Staubfadens, resp. jeder Zelle vor und nach der Contraction, indem er die beiden queren Achsen gleichmässig wachsen lässt, während doch factisch nur eine Zunahme in Richtung der Dicke stattfinden soll. Wurden also für den expandirten Zustand die beiden Achsen als gleich gross angenommen, wie es Unger thut, so musste natürlich nach der Contraction nicht, wie es geschah, wieder das Volumen eines kreisförmigen, sondern eines elliptischen Cylinders berechnet werden. Unger giebt für einen wiederholt gemessenen Staubfaden als Mittelwerth eine Verkürzung von 53 auf 39 Einheiten, und eine Verdickung desselben Filamentes von 16,6 auf 19,6 Einheiten an[1]. Das Volumen eines Staubfadens, der seine Länge und Dicke nach den angegebenen Werthen verändert, aber die gleiche Breite beibehält, sinkt von 100 auf 87 Raumeinheiten d. h. um 13 Procent. Die von Unger angegebene mittlere Verdickung von 18 Procent[2] ist entschieden zu hoch und zudem können Unger's mitgetheilte Messungen wenig Vertrauen einflössen, da bei 14 an demselben Staubfaden vorgenommenen Messungen die Dicke sowohl unverändert (Versuch XI), als um 43,7 Procent vermehrt (Versuch XIV) gefunden wurde[3]. Bei meinen Messungen über Verdickung der Staubfäden von Centaurea Jacea (Tabelle 8) erreicht die Fehleramplitude nicht einmal 6 Procent, obgleich ich mit verschiedenen Staubfäden operirte. Das von

---

1) Unger, Bot. Ztg. p. 118. — Die von Unger angegebenen Zahlen 12031 Raumeinheiten vor und 12254 Raumeinheiten nach Contraction ergeben sich, wenn man für 16,6 und 19,6 die Werthe 17 und 20 setzt und die Höhe des Cylinders zu 53 resp. 39 Längen-Einheiten annimmt.

2) L. c. pag. 115.

3) L. c. pag. 115.

Cohn[1]) angegebene Wachsen des Durchmessers bei Contraction von Centaurea-Staubfäden lässt sich nicht vergleichbar machen, weil weder gesagt ist, ob das Filament an Breite oder an Dicke, oder in beiden Richtungen zunahm, noch auch die Durchmesser der in Frage kommenden Staubfäden mitgetheilt sind. Jedenfalls erscheinen die angegebenen Werthe, welche eine Vermehrung des Durchmessers um 0,011 bis 0,021 Linien (Wiener?) angeben, sehr hoch, selbst wenn man annimmt, dass die Grundfläche der fraglichen Staubfäden eine sehr ansehnliche war. Hofmeister[2]) bemerkt, dass ihm Messungen an Centaurea nigra und spinulosa mit Unger's Angaben übereinstimmende Resultate ergaben, dass aber die Volumenzunahme durch Dickerwerden erheblich (etwa um 20 Procent) hinter der Volumenabnahme durch Verkürzung zurückbleibe. In wie weit sich hier Hofmeister auf die von Unger mitgetheilten oder durch eigene Messungen erhaltenen Zahlen stützt, lässt sich aus dem Texte nicht sicher entnehmen.

Aus dem festgestellten Factum, dass sich das Volumen des Staubfadens sehr ansehnlich bei der Contraction vermindert, lässt sich noch nicht Abgabe von Flüssigkeit aus den Zellen mit Bestimmtheit folgern. Denn es wäre denkbar, dass jene Verminderung des Rauminhaltes des Filamentes durch eine Verkleinerung der lufterfüllten Räume verursacht würde und bei der Grösse der Intercellularräume kann die Möglichkeit einer gegenseitigen Annäherung der Zellen keineswegs abgeleugnet werden. Mit aller Gewissheit aber lässt sich der Austritt von Flüssigkeit aus dem Zelllumen durch directe Messungen an den sich verkürzenden Parenchymzellen feststellen. Hierzu sind die Staubfäden von Cynara ihrer wenig durchsichtigen Epidermis halber nicht geeignet, hingegen kann man an Centaurea Jacea und anderen Arten dieses Genus ohne Weiteres die zunächst unter der Epidermis liegenden Parenchymzellen, in günstigen Fällen auch noch die nächst inneren Zellen mit genügender Deutlichkeit übersehen. Indem man die fraglichen Staubfäden in Wasser legt und mit einem Deckgläschen überdeckt, ohne sie jedoch zu drücken, lässt sich bei Reizung die ansehnliche Verkürzung der Zellen leicht verfolgen, ohne dass man im Stande wäre eine Vermehrung des Durchmessers zu bemerken. Ich habe aber auch bei etwa 600facher Vergrösserung Messungen an den fraglichen Zellen von Centaurea Jacea vorgenommen, welche das schon Gesagte völlig

---

1) Zeitschrift f. wiss. Zoologie von Siebold und Kölliker, 1863. Bd. XII, pag. 370.

2) Pflanzenzelle 1867, p. 310.

bestätigen. Die Parenchymzellen messen bei dieser Pflanze im Mittel etwa 0,015 Millim. im Durchmesser und 0,07 Millim. in der Länge, dem angegebenen Durchmesser entsprechen aber bei der angewandten Vergrösserung 12 bis 17 Theilstriche meines Ocularmikrometers. Es wurde nun an Zellen, für die directe Messungen eine Verkürzung bis zu 20 Procent ergaben, auch der Durchmesser bestimmt und dieser in keinem Falle vermehrt gefunden, ja es schien sich derselbe meistens ein wenig verringert zu haben. Bei einer Verkürzung um 20 Procent müsste bei gleichbleibendem Rauminhalt und bei gleichmässiger Zunahme der beiden anderen Dimensionen der Durchmesser um nahezu 12 Procent wachsen, hingegen um 25 Procent, wenn die Zelle eine Zunahme der Dicke erführe, wie es ja Unger will. In diesem letzteren Falle hätte eine Vermehrung des gemessenen Durchmessers um 3 bis 4 Theilstriche, im ersteren Falle um $1\frac{1}{2}$ bis 2 Theilstriche gefunden werden müssen, während, wie schon gesagt, eher eine kleine Abnahme zu bemerken war, gleichviel ob ich an den verkürzten Zellen die Breite oder die Dicke maass. Eine solche kleine Verringerung des Durchmessers ist, wie ich später zeigen werde, auch aus guten Gründen bei der Verkürzung zu erwarten, doch möchte ich auf die directe Messung keinen Werth gelegt wissen, weil es sich höchstens um $\frac{1}{2}$ Theilstrich handelt.

Ein gleiches Resultat wurde auch für mehr nach Innen zu gelegene Parenchymzellen gefunden, die nach Injection der lufterfüllten Räume mit Wasser bei Centaurea Jacea der Beobachtung zugänglich sind. Ich bemerkte schon früher, dass auch injicirte Staubfäden der Cynareen noch reizbar sind, freilich ist die Grösse der Contraction bei denselben merklich verringert. Wenn man aber dafür sorgt, dass die Luft nur theilweise durch Wasser ersetzt wird, was für unsere Zwecke vollkommen ausreicht, so gelingt es noch Staubfäden zu finden, welche sich um 15 Procent auf Reiz verkürzen. An solchen nun wurden meine Beobachtungen gemacht, welche auch für die innersten Parenchymzellen ein gleiches Verhalten wie für die mehr nach Aussen gelegenen ergaben.

Die Ausführung des Experimentes seinen Einzelheiten nach zu beschreiben, hat bei der Einfachheit der Manipulationen keinen Zweck. Die hauptsächlichste Schwierigkeit besteht darin bei der Contraction dieselbe Zelle im Auge zu behalten und eine Drehung des Staubfadens um seine Achse zu vermeiden. Letzteres zu verhindern ist nicht schwer, wenn man Blüthen benutzt, deren Staubfäden in früher angegebener Weise der Beobachtung zugänglich gemacht sind. Die Röhre der Blüthe kann man nun auf irgend eine Weise, etwa durch Ankleben festhalten, während man über die Filamente einen schmalen

auf Stützen ruhenden Streifen eines Deckgläschens legt, der die Antherenröhre und das unmittelbar angrenzende Ende des Filamentes nicht bedeckt, an welchem letzteren sich durch eine sehr leichte Berührung die Reizung vornehmen lässt. Hierbei muss man dann freilich die durch Verkürzung des Filamentes fortrückende Zelle im Auge behalten, was bei Uebung durch entsprechendes Schieben des Objectträgers unschwer zu erreichen ist. Ob die Zelle eine Drehung um die eigene Achse ausgeführt hat, lässt sich dadurch ermitteln, dass man vor der Reizung ein genaues Bild der fraglichen Zelle und ihrer Umgebung entwirft und indem man zugleich die Messung an einer durch irgend ein Merkmal gekennzeichneten Stelle vornimmt, ist es auch möglich den Durchmesser vor und nach der Verkürzung an derselben Stelle zu messen. Hierzu sei noch bemerkt, dass meine Messungen sowohl in der Nähe der Querwände, als in der Mitte zwischen diesen ausgeführt sind.

Aus den mitgetheilten Versuchen folgt nun aber mit positiver Gewissheit, dass die Verminderung des Rauminhaltes bei der ansehnlichen Verkürzung der Zellen auf einer Abgabe von Flüssigkeit aus dem Zellinneren beruht. Denn bei der einfachen Verkürzung des Cylinders ist es eben absolut unmöglich, dass die relativ sehr ansehnliche Verminderung des Cubikinhaltes der Zelle durch Ausstossung von Imbibitionswasser aus den sehr zarten Zellmembranen geschieht. Dass eine Verdickung dieser bei der Verkürzung nicht wahrzunehmen ist, erklärt sich aus der ungemein geringen Dicke der Zellwand bei Centaurea Jacea. Bei Cynara Scolymus, wo die Membran etwas massiver, wenn auch immer noch zart gebaut ist, kann man indess bei der Verkürzung eine Dickenzunahme der Längswand mit Sicherheit bemerken. Uebrigens ist bei Centaurea Jacea das Volumen der gesammten Membran ein viel geringeres, als die Verminderung des Rauminhaltes bei einer ausgiebigen Verkürzung der Zelle. Wenn hierbei der Durchmesser unverändert 20 Mikromillim. bleibt, die Länge der Zelle vor der Contraction 70 Mikromillim. misst und bei der Reizung sich auf 56 Mikromillim., d. h. um 20 Procent verkürzt, so nimmt das Volumen der cylindrischen Zelle um 4398 Cub.-Mikromillim. ab. Nimmt man nun für die Zellmembran die übertriebene Dicke von 1 Mikromillim. an, so berechnet sich der Rauminhalt für Längs- und Querwand zusammen zu 4178 Cub.-Mikromillim., erreicht also selbst dann nicht einmal die Abnahme des Volumens der Zelle.

Die austretende Flüssigkeit kann sich nur in die lufterfüllten Intercellularräume ergiessen und nach physikalischen Gesetzen dürfen wir erwarten, dass sie hier zum grössten Theil zurückgehalten wird,

indem Luft aus den Staubfäden verdrängt wird. Es gelingt in der That nicht jedesmal und immer nur bei grösster Vorsicht an einem quer durchschnittenen Staubfaden etwas Flüssigkeit austreten zu sehen, wie wir es für die Gelenke von Mimosa kennen lernten. Man muss zu dem Ende sehr reizbare Staubfäden wählen, die nicht allzu geringe Durchmesser haben, wie dieses bei Cynara Scolymus der Fall ist, mit der ich meine Versuche anstellte. Sobald die Staubfäden unter der Antherenröhre durchschnitten waren, wurden die Objecte in einen dampfgesättigten Raum gebracht und hier bis zur vollendeten Expansion der Filamente gelassen. Bei der Reizung eines Staubfadens konnte dann öfters, jedoch keineswegs jedesmal, das Hervorquellen einzelner sehr kleiner Tröpfchen auf der Schnittfläche beobachtet werden. Die Tröpfchen kamen in allen Fällen auf der Schnittfläche des zwischen Gefässbündel und Epidermis liegenden Parenchyms zum Vorschein.

Anders gestaltet sich die Sache, wenn man mit Wasser injicirte Staubfäden einem gleichen Versuche unterwirft. Ich habe schon wiederholt bemerkt, dass injicirte Staubfäden noch reizbar sind, wie dieses zuerst von Unger[1]), entgegen einem früheren Ausspruch dieses Forschers[2]), dargethan wurde. Ich fand die Staubfäden von Centaurea Scabiosa, Jacea und montana, sowie von Cynara Scolymus stets noch reizbar, wenn auch die Luft in den Intercellularräumen vollkommen durch Wasser ersetzt war. Allerdings ist in diesem Falle die Grösse der Reizbewegung sehr vermindert, während dieselbe bei partieller Injection zwar auch, jedoch in geringerem Grade abnimmt. Die Reizbarkeit kehrte nach Beendigung der Manipulation des Injicirens immer ziemlich schnell zurück, sowohl wenn die Staubfäden in Luft, als auch wenn sie in luftführendes Wasser gebracht wurden. Selbst in letzterem Falle habe ich noch nach Ablauf von 12 Stunden Reizbarkeit gefunden[3]), doch scheint es allerdings, dass die injicirten Staubfäden etwas schneller als andere absterben.

An den mit Wasser injicirten Staubfäden von Cynara Scolymus — übrigens auch an denen von Centaurea-Arten — kann man den Austritt von Flüssigkeit bei einer jeden Contraction wahrnehmen. Ist eine solche nur gering, dann gelingt es nicht selten zu sehen, wie die Flüssigkeit im Augenblicke der Contraction nur aus dem Parenchym hervorkommt,

---

1) Botan. Zeitung 1863, p. 350.

2) Ebenda. 1862, p. 116.

3) Nicht injicirte Staubfäden unter Wasser getaucht, bleiben auch reizbar. Cohn's gegentheilige Angabe (Abhdlg. d. schles. Ges. 1861, p. 20) ist irrig.

doch verbreitet sie sich bei jeder ansehnlichen Reizbewegung auch über das Gefässbündel und die ganze Schnittfläche des Staubfadens ist dann mit einem Wasserhügel bedeckt. Dieser Versuch zeigt uns einmal, dass das Volumen des Staubfadens sich wirklich und zwar ansehnlich verkleinert und ferner dürfen wir aus dem so minimalen, oder auch gar nicht stattfindenden Austritt von Flüssigkeit an nicht injicirten Staubfäden mit Sicherheit den Schluss ziehen, dass bei jenen Luft es ist, welche bei der Contraction verdrängt wird, was ohnehin nicht anders zu erwarten ist. Die geringe Menge Flüssigkeit, welche sich bei Reizung nicht injicirter Staubfäden öfters auf dem Querschnitt zeigt, wird aus den der Schnittfläche nahe liegenden Zellen stammen. Versuche, den Austritt von Luft durch Reizung in Wasser getauchter Staubfäden direct nachzuweisen, gaben auch hier kein bestimmtes Resultat, was indess bei der Kleinheit des Objectes nicht überraschen kann. Wenn, um die Verstopfung der Intercellularen durch Wasser zu vermeiden, eine Luftschicht auf der Schnittfläche gelassen war, so schien diese allerdings bei Reizung des Staubfadens etwas an Volumen zu gewinnen, doch sind hierbei zu leicht Täuschungen möglich und kann ich diesen Versuchen gar kein Gewicht beilegen. Die Luft in den Intercellularräumen des Filamentes wird jedenfalls in keiner nennenswerthen Weise zusammengepresst werden, da jene Räume, wie ich schon mittheilte, mit den Intercellularen und grösseren Luftlücken in der Corolle communiciren, das Volumen dieser aber gegenüber dem Volumen der aus dem Staubfaden verdrängten Luft ungeheuer gross ist.

Beachtet man nun, dass bei der Verlängerung der Parenchymzellen, resp. der Filamente, Flüssigkeit aufgenommen wird, der hydrostatische Druck also wächst, worüber späterhin berichtet werden wird, so leuchtet ein, dass bei der Contraction eine Verdickung der Parenchymzellen jedenfalls nicht, wohl aber eine Verdünnung erwartet werden kann, wenn wir im Auge behalten, dass die Seitenwand der Zellen völlig gerade bleibt. Directe Messungen an den Zellen liessen zwar eine sehr geringe Abnahme der Querdurchmesser vermuthen, erlaubten aber nicht eine solche sicher zu stellen. Für unseren nächsten Zweck genügt das Factum, dass die Querdurchmesser jedenfalls nicht bemerkenswerth zunehmen; weshalb die Abnahme kaum nachweisbar ist, davon werden wir erst später sprechen.

Aus dem eben Gesagten folgt, dass der sich auf Reiz verkürzende Staubfaden nicht durch Zunahme der Querdurchmesser der Zellen an Dicke gewinnen kann, die geringe factische Verdickung also auf andern Ursachen beruhen muss. Eine dieser liegt unbedingt darin, dass bei

der Verlängerung eines Filamentes Gefässbündel und Epidermis jedenfalls zum guten Theil, vielleicht auch ganz und gar passiv gedehnt werden, worauf ich noch später zurückkomme. Dem Durchmesser nach nehmen aber diese passiv gedehnten Gewebe bei der Verkürzung zu, weil ihr Volumen sich nicht wesentlich ändern wird. Man sollte freilich glauben, dass die passiven Schichten nach beiden Dimensionen des Querschnitts an Durchmesser gewinnen und solches ist auch aus gewissen Gründen möglich, obgleich wir an den sich contrahirenden Filamenten nur oder fast nur eine geringe Verdickung feststellten. Halten wir uns aber einmal an das beobachtete Factum, um uns eine Vorstellung zu bilden, in wie weit wohl die Verdickung der passiv gedehnten Gewebe die bei der Verkürzung des Filamentes eintretende Zunahme des radialen Durchmessers zu erklären vermag.

Das auf dem Querschnitt elliptische Gefässbündel der Filamente von Cynara Scolymus ergab als Mittelwerth einer Anzahl von Messungen für die grosse Achse 0,042 Millim. und für die kleine, mit dem Dickendurchmesser des Staubfadens zusammenfallende Achse 0,025 Millimeter. Wenn nun letztere allein wächst und das Volumen des Gefässbündels sich nicht ändert, so wird bei einer Verkürzung des Filamentes um 12 Procent die kleine Achse des Fibrovasalstranges 0,0284 Millimeter geworden sein. Bei einer solchen Contraction muss die Dicke des Staubfadens von 0,2 Millim. zu 0,2034 Mill., also um 1,7 Procent wachsen. Eine solche Zunahme ist aber schon völlig ausreichend, um die an den Filamenten von Cynara gemessene Verdickung zu erklären. Diese verhält sich zu der Verkürzung im Mittel wie 1 zu 8[1]), was für 12 Procent Verkürzung eine Verdickung des Filamentes von 1,5 Procent ergiebt, also einen mit dem berechneten nahezu übereinstimmenden Werth.

Ob nun das Gefässbündel nur passiv gedehnt wird, das muss freilich, wie ich weiterhin noch erörtern werde, dahingestellt bleiben, jedenfalls wird aber jenes bei der Verkürzung an Durchmesser gewinnen, wenn auch vielleicht seine Zellen etwas reizbar sind und bei der Contraction ein klein wenig Flüssigkeit abgeben. Es ist aber auch zu berücksichtigen, dass die ganz oder vielleicht nur theilweise passiv gedehnt werdende Epidermis sich bei der auf Reiz erfolgenden Verkürzung des Staubfadens gleichfalls etwas verdicken wird, während die reizbaren parenchymatischen Zellen eine, wenn auch nur sehr geringe Abnahme der Querdurchmesser erfahren werden. Welche Verdickung an dem sich contrahirenden

1) Diese Arbeit p. 90.

Filament als Resultirende der eben namhaft gemachten Componenten zu Stande kommt, ist nicht mit Sicherheit vorauszusagen und zudem tritt noch ein weiterer Factor hinzu, nämlich die Möglichkeit, dass die gegenseitige Entfernung der Zellen sich etwas ändern kann. Dieses ist sehr wohl unter entsprechender Verkleinerung der Intercellularräume möglich, da ja die cylindrischen Zellen nur mit beschränkten Flächenstücken der Seitenwand in Verband stehen.

In einer geringen Verschiebung oder Annäherung der Zellen dürfte es auch begründet sein, dass sich die Breite der sich verkürzenden Staubfäden nicht wesentlich ändert. Der Grund hierfür kann jedenfalls nicht darin liegen, dass in dieser Richtung eine etwas grössere Anzahl parenchymatischer Zellen zwischen Gefässbündel und Epidermis liegen, als in Richtung des radialen Durchmessers des Staubfadens. Denn die jedenfalls nur geringe Verdünnung der Parenchymzellen kann die Zunahme des Breitendurchmessers des Gefässbündels nicht compensiren, wenn dieser, was doch wahrscheinlich ist, bei der Verkürzung in gleichem Verhältniss wie die Dicke des elliptischen Fibrovasalstranges zunimmt, weil die grosse Achse des Querschnittes des letzteren mit dem Breitendurchmesser des Filamentes zusammenfällt.

Die Verhältnisse, wie sie im Staubfaden gegeben sind, können eine Annäherung oder Verschiebung der Zellen sehr wohl hervorrufen. Es ist hier zu beachten, dass die verdickten Aussenwände der Epidermis etwa wie ein Kautschukschlauch um das Filament liegen oder auch vielleicht die ganze Epidermis, wenn die Zellen gar nicht reizbar sind, in solcher Weise aufzufassen ist. Wenn nun der Staubfaden sich verlängert, so sucht sich der umhüllende Schlauch zu verdünnen und übt in radialer Richtung einen vermehrten Druck aus, der jedenfalls um so mehr zunimmt, je ansehnlicher das Filament sich verlängert, wenn auch die wirkliche Vermehrung der fraglichen Pressung nicht ganz sicher anzugeben ist. Einmal weiss man nicht, ob der isolirte Schlauch bei der Dehnung einen gleichen Rauminhalt behauptet oder etwas an Volumen gewinnt, wie es bei unorganisirten Körpern der Fall ist[1], ferner ist nicht genau bekannt, um wie viel das passiv gedehnte Gefässbündel

1) Ein Kautschukschlauch, welcher sich von 1 auf $1 + a$ verlängert, wird nach Wertheim's Versuchen (Wüllner, Physik II. Aufl., 1870, p. 177) nur im Verhältniss von 1 zu $1 - \frac{a}{3}$ dünner. Dies gilt indess nur bei einer Dehnung bis etwa zur doppelten Länge, die Volumenzunahme bei weiterer Verlängerung ist aber geringer. Vgl. Villari, Poggendorf's Annal. 1871, Bd. 219, p. 302. — Bezüglich organisirter Körper verweise ich auf Nägeli u. Schwendener, Mikroskop p. 405.

seinen Durchmesser zu verringern und in welchem Maasse die Dicke der Parenchymzellen zuzunehmen sucht. Dieses und noch einige andere Umstände machen freilich eine genaue Einsicht unmöglich, so viel ist indess gewiss, dass jedenfalls der auf den Parenchymzellen in radialer Richtung lastende Druck bei der Verlängerung des Filamentes sich vermehrt. Dadurch kann aber sehr wohl eine geringe gegenseitige Annäherung der Zellen erzielt werden, wenn auch deren Durchmesser und der auf der Seitenwand lastende hydrostatische Druck gleichzeitig zunimmt.

Eine genaue Ermittelung der Querspannung der Epidermis vor und nach der Contraction der Filamente ist nicht wohl möglich. Denn beim Zerschneiden vermindert sich der Turgor der dünnwandigen Parenchymzellen allzu leicht, aus den in Wasser liegenden Schnitten kann aber ein Schluss auf die Spannungsverhältnisse im contrahirten Filamente nicht gezogen werden, weil die nun ihrer Reizbarkeit beraubten Zellen sich in Wasser anscheinend ebenso stark verlängern, wie es reizempfängliche Zellen, in Ruhe gelassen, thun. Dazu kommt, dass durch die Ermittelung der Querspannung an Schnitten ein richtiges Bild über die im unverletzten Organe herrschenden Spannungsverhältnisse nicht gewonnen wird, in welchem ja die positiv gespannten Gewebe comprimirt, die negativ gespannten expandirt waren. Aus den angestellten Versuchen lässt sich aber soviel entnehmen, dass die Epidermis auch in dem auf Reiz verkürzten Filamente noch in tangentialer Richtung gedehnt, d. h. negativ gespannt ist und dass diese Spannung bei Verlängerung des Staubfadens zunimmt, wie ja nicht anders erwartet werden kann.

Jedenfalls genügen die erörterten Verhältnisse, um die geringe gemessene Dickenzunahme des auf Reiz sich verkürzenden Staubfadens zu erklären, wenn eine vollkommene Einsicht in alle Details auch nicht zu gewinnen ist. So ist nicht genau zu sagen, warum die Filamente wesentlich nur an Dicke gewinnen, der Breitendurchmesser aber unverändert bleibt. Am wahrscheinlichsten freilich scheint es, dass dieses nicht in dem passiv gedehnten Gefässbündel, sondern in einer Verschiebung der parenchymatischen Zellen seine Erklärung findet, wodurch die Zunahme des sich verkürzenden Gefässbündels in der mit dem Breitendurchmesser des Filamentes zusammenfallenden Richtung compensirt wird. Ob diese Verschiebung nun durch die besondere Aneinanderreihung der Zellen oder durch die Elasticitätsverhältnisse der Epidermis veranlasst wird, oder in anderen Umständen begründet ist, muss ich auf sich beruhen lassen.

Durchaus verschieden muss sich aber die Veränderung der Durchmesser gestalten, wenn ein Staubfaden gewaltsam gedehnt wird. Bei der nach einem Reiz erfolgenden Expansion des Staubfadens, wächst, wie wir wissen, das Volumen einer jeden Zelle durch Aufnahme von Flüssigkeit, bei einer gewaltsamen Dehnung kann aber der Rauminhalt der Zellen derselbe bleiben, oder er wird doch nur geringe Aenderungen dann erfahren, wenn in Folge der gewaltsamen Verlängerung Verhältnisse eintreten, welche einen Austritt oder eine Aufnahme von Flüssigkeit nach sich ziehen. An Staubfäden, die durch einen Zug stark verlängert wurden, kann man denn auch bei mikroskopischer Beobachtung die Verminderung des Durchmessers der Zellen ohne weiteres wahrnehmen. Hierbei sieht man die Querwand der Zellen sich convex in die angrenzende Zelle hervorwölben, oder auch sich faltig einschlagen. Es folgt hieraus aber, dass die Dehnung der übrigens elastischen Querwand unter dem in den Zellen des Filamentes herrschenden hydrostatischen Druck eine weit geringere war, als der Abnahme des Zellendurchmessers entspricht, welche bei einigermaassen ansehnlicher gewaltsamer Verlängerung des Staubfadens eintritt. Bei sehr bedeutender Verlängerung des Filamentes kann man an der Längswand in das Lumen der Zelle convex vorspringende und der Längsachse parallele Faltungen wahrnehmen. Ob diese sich schon bei geringerer Dehnung, resp. Verdünnung der Zellen einfinden, habe ich nicht verfolgt, ist übrigens auch keineswegs leicht festzustellen. Die Erörterung dieses Punctes würde insofern ein Interesse haben, als bei richtiger Combination der Experimente auf diesem Wege Schlüsse über die Dehnbarkeit und Elasticität der Längswand in Richtung der Tangenten eines Querschnittes der Zelle zu gewinnen wären.

Wie eine jede Zelle, so nimmt auch das Filament in beiden zur Verlängerung senkrechten Richtungen ab und zwar bleibt das Volumen des Staubfadens annähernd dasselbe, wie die folgenden Messungen zeigen, welche für alle Dimensionen bei nahezu 100facher Vergrösserung (1 Theilstrich = 0,00885 Millim.) angestellt sind. Bei der ersten Messung war der Staubfaden immer schon ganz schwach angespannt und nachdem dann Länge und Breite, resp. Dicke gemessen waren, wurde das Filament stärker gedehnt und die Messung an denselben Marken wiederholt. Bei diesen Dehnungen wurde nachweislich die Elasticitätsgrenze des Staubfadens nicht überschritten. In Folgendem stehen die gemessenen Längen und Durchmesser in Horizontalreihen und zwar so, dass unter der Länge jedesmal die bei diesem Dehnungszustand gemessene Breite oder Dicke aufgeführt ist. Zunächst ist das Verhältniss

der beiden Längen, resp. der Durchmesser in abgelesenen Theilstrichen angegeben, darauf folgt in gleicher Horizontalreihe dasselbe Verhältniss, in dem aber die bei ganz schwacher Dehnung abgelesene Länge resp. der Durchmesser gleich 100 gesetzt ist. Endlich steht in der die Messungen über Breite oder Dicke enthaltenden Horizontalreihe als dritte Columne mit der Vorschrift „Berechnet" das gleichsinnige Verhältniss wie in der zweiten Columne derselben Reihe, wie es sich aus der gemessenen Längenzunahme ergiebt, wenn man annimmt, dass das Volumen des gedehnten Staubfadens sich nicht ändere und derselbe ein elliptischer Cylinder sei, dessen beide Achsen sich gleichmässig verkürzen[1].

Breitenmessungen.

{ Länge 30 : 37 = 100 : 123.
{ Breite 54 : 47 = 100 : 87. Berechnet 100 : 90,1.

{ Länge 30 : 37,5 = 100 : 125.
{ Breite 52 : 46 = 100 : 88. Berechnet 100 : 89,4.

Dickenmessungen.

{ Länge 43 : 49 = 100 : 114.
{ Dicke 32 : 30,5 = 100 : 95. Berechnet 100 : 93,6.

{ Länge 37 : 57 = 100 : 154.
{ Dicke 27 : 21 = 100 : 78. Berechnet 100 : 80,6.

Die mitgetheilten, an Staubfäden von Cynara Scolymus ausgeführten Messungen zeigen uns, dass die direct gefundenen Werthe mit den aus der Verlängerung berechneten sehr vollkommen übereinstimmen. Es ist indess unter den obwaltenden Verhältnissen nicht daran zu zweifeln, dass sich bei vermehrten Versuchen auch etwas grössere Abweichungen der gefundenen und berechneten Werthe einstellen werden. Die Anstellung einer grösseren Anzahl von Experimenten schien mir indess nicht geboten, da schon die vorliegenden Versuche zur Genüge zeigen, dass das Volumen des gewaltsam gedehnten Staubfadens sich nicht wesentlich ändert und dass die Abnahme der beiden Querachsen eine annähernd gleichmässige ist. Es ist kaum anzunehmen, dass sich die Staubfäden von Centaurea Jacea wesentlich anders verhalten und

---

1) Man hat dann die Formel:

$v = l \cdot n \cdot \frac{r}{\sqrt{n}} \cdot \frac{r'}{\sqrt{n}} \cdot \pi$, worin v das Volumen, l die Länge, r und r' die beiden halben Achsen und n der Verlängerungscoefficient ist. Durch Division mit der Quadratwurzel dieses in 100 werden also die procentischen Werthe der Veränderung der Durchmesser erhalten.

Unger's [1]) Messungen, welche für einen gewaltsam gedehnten Staubfaden dieser Pflanze bei der Contraction eine ganz auffallend grosse Zunahme des Breitendurchmessers ergaben, dürften wohl bestimmt fehlerhaft sein.

Wiederholt schon wurde von der Elasticität der Staubfäden der Cynareen gesprochen, auf die ich jetzt näher eingehen will. Wenn man bedenkt, dass die Filamente mancher Cynareen sich auf das Doppelte ihrer Länge ausziehen lassen, um nach Entfernung der dehnenden Kraft sofort wieder zurückzuschnellen, so kann es nicht überraschen, dass ein aufmerksamer Beobachter wie Covolo [2]) bereits auf diese elastische Eigenschaft aufmerksam wurde, über die einige specielle Untersuchungen von Unger [3]) vorliegen, welche übrigens eigentlich nur zeigen, dass bei weit getriebener Dehnung der Staubfäden von Centaurea die Elasticitätsgrenze überschritten wird. Für Centaurea Jacea kann auch ich bestätigen, dass nach einer bis in die Nähe des Zerreissens getriebenen Dehnung die Distanz zweier Marken sich ein wenig vergrössert hat, doch habe ich bei oft wiederholter Dehnung eine so ansehnliche Verlängerung, wie sie Unger angiebt, nicht gerade beobachtet, was übrigens rein zufällig sein kann, da sich entschieden individuelle Unterschiede geltend machen. Unger [4]) fand bei einer fünfmaligen Dehnung eine Verlängerung des ungespannten Staubfadens um nahezu das Doppelte, während ich bei einer gleich oft wiederholten gewaltsamen Expansion höchstens eine Längenzunahme von 20 Procent, gewöhnlich indess eine viel geringere beobachtete. Innerhalb der Elasticitätsgrenze habe ich eine Dehnbarkeit bis zu 37 Procent getroffen, doch verhalten sich hier die verschiedenen Blüthen entnommenen Staubfäden ungleich und ich fand auch gelegentlich schon nach Dehnung um 21 Procent die Elasticitätsgrenze überschritten. Ich habe hier übrigens nur solche Staubfäden im Auge, die sich in ihrem besten Entwicklungsstadium bezüglich der Reizbarkeit befanden.

Es soll hier nur einer der Versuche mit Centaurea Jacea mitgetheilt werden. In der oberen Horizontalreihe stehen die im gänzlich ungespannten Zustand am gereizten Staubfaden gemessenen Theilstriche des Mikrometers, in der unteren Horizontalreihe finden sich die im gewaltsam expandirten Zustand notirten Werthe. Das Maass, zu welchem

---

1) Bot. Ztg. 1862, p. 116.
2) Naturforscher, Halle 1775, Stück 6, p. 234.
3) Bot. Ztg. 1862, p. 116.
4) Ebenda, p. 116.

der Staubfaden zwischen zwei im ungespannten Zustand vorgenommenen Ablesungen gedehnt worden war, wird durch die Zahl der unteren Horizontalreihe angegeben, welche unter dem Intervall zwischen zwei Zahlen der oberen Horizontalreihe steht.

Ohne Dehnung:	38	40	41	41	43
Gedehnt:		49	50	55	63

Die Messungen sind bei einer nahezu 100fachen Vergrösserung (1 Theilstrich = 0,00885 Millim.) angestellt. Die Ausführung des Versuches geschah in der Weise, dass die Corollenröhre auf einem Korkstück, das auf einen Objectträger geklebt war, befestigt, die Antherenröhre, nach Entfernung des Griffels, aber zwischen einer aus Korkstückchen gebildeten Klemmvorrichtung gehalten wurde. An letzterer befand sich ein Häkchen in das die Schlinge eines Seidenfadens eingehenkt wurde, welcher durch einen Wirbel gespannt werden konnte. Wenn man diesen in einem durchbohrten Kork festhält, der gleichfalls auf dem Objectträger befestigt ist, so hat man einen für unseren Zweck ausreichenden und jederzeit leicht zu construirenden Apparat.

Bei den Staubfäden von Cynara Scolymus habe ich eine Ueberschreitung der Elasticitätsgrenze bei einer ganzen Anzahl von Versuchen nicht beobachtet, indem auch dann, wenn ich die Staubfäden so weit dehnte, dass eine geringere weitere Anspannung ihr Zerreissen zur Folge hatte, nach Aufhebung des Zuges eine gleiche Distanz der Marken wie zuvor abgelesen wurde. Dabei sind die Staubfäden von Cynara sehr dehnbar und ich habe öfters eine Verlängerung von 80 Procent beobachtet, ehe ein Zerreissen eintrat, wobei ich auch hier nur solche Staubfäden im Auge habe, welche sich in dem reizbarsten Stadium ihrer Entwicklung befinden. Uebrigens ist die Dehnbarkeit bei den Staubfäden verschiedener Blüthen eine ungleiche und manche Filamente lassen sich bis zum Zerreissen nur um etwa 25 Procent verlängern. Nach öfters wiederholter Dehnung findet man eine geringe Verkürzung des ungespannten Staubfadens und diese nimmt weiterhin noch zu, wenn sie auch ansehnliche Werthe, bei einer mässigen Anzahl von Dehnungen wenigstens, nicht erreicht. Diese Verkürzung beruht offenbar auf einem Sinken des Turgors der Zellen, wie wir ihn als eine normale Erscheinung an den dem Absterben entgegengehenden Staubfäden kennen lernen werden. Ich beschränke mich darauf hier eine Versuchsreihe mitzutheilen, bezüglich deren Anordnung dasselbe gilt, was vorhin bei Centaurea Jacea gesagt wurde.

Ohne Dehnung:	46	46,5	45,5	46	45	44,5	43	42
Gedehnt:		80	82	86	83	85	84	86

Die hohe Dehnbarkeit bei vollkommener Elasticität, welche wir bis dahin am ganzen Staubfaden betrachteten, kommt aber auch jedenfalls sehr annähernd denjenigen Zellmembranen zu, die mit der Längsachse parallel gestellt sind [1]. Denn bei den cylindrischen Parenchymzellen des Staubfadens erscheint die Membran, im optischen Schnitt gesehen, sowohl im contrahirten als expandirten Zustand immer in Form zweier paralleler Linien, die auch an solchen Staubfäden, welche sich im reizbarsten Stadium der Entwicklung befinden, keine Wellungen erkennen lassen. Ausserdem stehen die Zellen mit ihren Querwänden aufeinander und bilden der Längsachse des Filamentes parallele Reihen, so dass auch die Anordnung der Zellen keine Möglichkeit einer Verlängerung durch gegenseitige Entfernung darbietet. Ebenso sind endlich die Zellen des Gefässbündels cylindrisch und dieses ist auch nach der Contraction der reizbaren Staubfäden, wie wir sie hier im Auge haben, völlig gerade gestreckt. Sowohl die Membranen der Elementarorgane des Gefässbündels, als die der Zellen des Parenchyms und die Cuticula müssen also mindestens eine solche Dehnbarkeit ohne Ueberschreitung der Elasticitätsgrenze besitzen, wie wir sie im Staubfaden finden, da ja dieser nothwendig nicht auf seine frühere Länge zurückkehrte, wenn die Elasticitätsgrenze der Membranen, auch nur eines der genannten Complexe, überschritten worden wäre. Dabei ist natürlich nicht ausgeschlossen, dass gewissen Membranen eine grössere Dehnbarkeit als anderen zukommt.

Die Dehnbarkeit der dabei vollkommen elastischen Membranen der Staubfäden von Cynareen ist allerdings ungeheuer gross, aber auch bei den nicht reizbaren und anatomisch ähnlich gebauten Staubfäden von Helianthus annuus konnte ich eine Dehnung bis zu 26 Procent constatiren, ohne dass die Elasticitätsgrenze überschritten worden wäre. Indess kommt eine geringe, aber vollkommene Elasticität keineswegs allen Staubfäden zu und ausserdem sind keine pflanzliche Membranen bekannt, welche bei vollkommener Elasticität auch nur annähernd eine so hohe Dehnbarkeit, wie die der Staubfäden der Cynareen besässen; freilich fehlt es auch an in dieser Richtung ausgeführten Versuchen. Für verholzte Membranen ist die geringe Dehnbarkeit innerhalb der Elasticitätsgrenze bekannt [2]) und es scheint, dass letztere bei Zellwandungen jugendlicher Gewebe vielfach schon bei sehr mässiger Verlängerung überschritten wird [3].

---

1) Vergl. Nägeli und Schwendener, Mikroskop p. 410.
2) Nägeli und Schwendener, Mikroskop p. 404.
3) Vergl. Sachs, Lehrbuch III. Aufl., p. 691.

Bis dahin haben wir uns nur mit der elastischen Eigenschaft der Filamente beschäftigt, ohne nach der elastischen Kraft, d. h. nach dem Verhältniss zwischen spannendem Gewicht und Dehnung zu fragen, dessen Kenntniss uns für eine spätere Betrachtung von Bedeutung werden wird. Zur Feststellung der Verlängerung bei bekanntem spannendem Gewichte diente eine ähnliche Vorrichtung, wie ich sie vorhin für die Dehnungsversuche angab. Der Seidenfaden war aber hier nicht an einem Wirbel befestigt, sondern über eine sehr bewegliche Rolle geführt und mit einer leichten Wagschale versehen. Die fünf Filamente wurden durch ein Gewicht von 5 Gramm gespannt gehalten, um sie völlig gerade zu strecken und dann mit Vermeidung von Stoss je 5 Gramm aufgelegt und das Auseinanderrücken zweier Marken bei ungefähr 100facher Vergrösserung (1 Theilstrich = 0,00885 Millim.) gemessen.

Die verkürzten, übrigens im besten Stadium der Reizbarkeit befindlichen Staubfäden von Cynara Scolymus verlängerten sich in unseren Versuchen bei einer Dehnung um 12 bis 20 Procent proportional dem spannenden Gewichte, weiterhin indess scheint die Dehnbarkeit für ein gleich grosses angehängtes Gewicht abzunehmen. Es kam mir nicht darauf an in dieser Richtung eine Gesetzmässigkeit zu ermitteln und deshalb gab ich mich mit nur annähernden Messungen zufrieden, welche, entsprechend der später daraus zu ziehenden Nutzanwendung, hauptsächlich das Verhalten bei einer mässigen Ausdehnung des Filamentes im Auge hatten. Ich gebe deshalb auch gern zu, dass factisch keine vollkommene Proportionalität zwischen Dehnung und spannendem Gewichte besteht, sondern, wie genaue Messungen vielleicht ergeben werden, dass überhaupt ein gleicher Spannungszuwachs, eine um so geringere Dehnung hervorbringt, je ansehnlicher der Staubfaden schon verlängert ist[1]). Ein solches Verhalten ist durch Ed. Weber für die gewaltsame Verlängerung des Muskel bereits festgestellt.

Bei einer Anzahl von Versuchen zeigten die fünf Staubfäden derselben Blüthen eine gleich grosse Dehnbarkeit. Wenn diese zunächst für die fünf Staubfäden zusammen bestimmt wurde, so war nach Entfernung von 4 Filamenten nur noch $^1/_5$ des Gewichtes nöthig, um ein

1) Wie Villari zeigte (Poggdf. Annal. 1871, Bd. 219, p. 292) ist bei Kautschuk beim Ausziehen bis zu doppelter Länge die Verlängerung dem spannenden Gewichte so ziemlich proportional. Bei ansehnlicherer Verlängerung vermindert sich aber der Längenzuwachs für ein gleiches Gewicht sehr auffallend, obgleich die Elasticitätsgrenze kaum überschritten wird. — Bezüglich weniger elastischer Körper vgl. Villari, l. c. p. 294.

gleiches Maass der Ausdehnung hervorzubringen wie zuvor. Auch hier werden sich wohl bei genaueren Messungen kleine Differenzen ergeben, doch ist zu bemerken, dass die Staubfäden derselben Blüthe auch in der auf Reiz erfolgenden Verkürzung nahezu übereinzustimmen scheinen, wie auch ihre Dimensionen nicht wesentlich von einander abweichen.

Bei einer Dehnung der fünf contrahirten Staubfäden um 12 bis 15 Procent wurde in einer ziemlichen Anzahl von Versuchen für ein ziehendes Gewicht von 10 Gramm eine Verlängerung von 8,7 bis 13 Procent gefunden[1]). Zu einer gleichen Dehnung eines einzelnen Staubfadens gehört also ein Gewicht von 2 Gramm, womit, wie schon bemerkt wurde, auch directe Versuche übereinstimmen. Es genügt hier als Beispiele zwei von meinen Versuchen mit den vereinten fünf Staubfäden mitzutheilen. Wie schon bemerkt, waren die Filamente bei der ersten Messung schon durch 5 Gramm gespannt, dann wurde ein weiteres Gewicht von 5 Gramm aufgelegt (es ist dieses durch + 5 Gramm bezeichnet) und eine neue Ablesung vorgenommen.

Gespannt durch 5 Gramm	Entfernung der Marken			50	Strich	Diff. 3
+ 5 Gramm	»	»	»	53	»	
+ 5 Gramm	»	»	»	56	»	Diff. 3
+ 5 Gramm	»	»	»	58,5	»	Diff. 2,5
+ 5 Gramm	»	»	»	60,5	»	Diff. 2

Verlängerung für 10 Gramm = 50 : 56 Strich = 12 Procent.

Gespannt durch 5 Gramm	Entfernung der Marken			62,5	Strich	Diff. 3
+ 5 Gramm	»	»	»	65,5	»	
+ 5 Gramm	»	»	»	68,5	»	Diff. 3
+ 5 Gramm	»	»	»	71,0	»	Diff. 2,5

Verlängerung für 10 Gramm = 62,5 : 68,5 = 9,6 Procent.

Bei diesen Versuchen ist zu berücksichtigen, dass die Staubfäden der Cynareen, ähnlich wie die Gelenkwülste von Mimosa, bei schnell aufeinander folgenden Reizungen in den expandirten Zustand sich zurückbegeben. Aus diesem Grunde muss die Ausführung eines Versuches nothwendig schnell geschehen, dann kann man sich aber auch durch Entfernung des Uebergewichtes überzeugen, dass die Marken auf dieselbe Entfernung zurückgehen, welche sie zuvor bei gleichem spannenden Gewichte besassen. Uebrigens wirkt wiederholte Dehnung entschieden ungünstig auf die in den Zellen entwickelte Expansionskraft, welche

1) Zerreissung der Staubfäden erfolgte meist bei einem Gewichte von 25 bis 30 Gramm.

sich bei leichten, in kurzen Intervallen wiederholten Stössen, trotz Erlöschens der Reizbarkeit, in den Staubfäden von Cynara so gut geltend macht, wie in den Gelenken von Mimosa. Die der wiederholten gewaltsamen Ausdehnung eben zugeschriebene Beeinflussung geht aus den schon mitgetheilten Versuchen mit Cynara Scolymus hervor, welche zeigen, dass die öfters gedehnten Staubfäden durch Verminderung des Turgors sich etwas verkürzen.

Wir haben bis dahin nur die Elasticität der gereizten Filamente im Auge gehabt, für uns ist es aber, wie wir noch später sehen werden, von besonderer Wichtigkeit zu wissen, ob in dem expandirten Staubfaden die Elasticität der Membranen nicht geändert ist. An dem reizempfänglichen Filamente würde diese Frage nicht leicht zu entscheiden sein, indess kommt es für gewisse später zu machende Folgerungen gar nicht darauf an, dass der fragliche Staubfaden reizbar ist, sondern es handelt sich nur darum, zu wissen, ob die Elasticität der Wände im verkürzten und verlängerten Zustand eine gleiche ist. Um dieses zu entscheiden, kann man durch Chloroform ihrer Reizbarkeit beraubte, verlängerte Staubfäden benutzen und für diese ergab sich eine gleiche Elasticität wie für die contrahirten Staubfäden. Die Ausführung der Versuche geschah in der Weise, dass zunächst die Verlängerung der vereinten fünf Filamente einer Blüthe in dem auf Reiz verkürzten Zustand festgestellt und darauf die Dehnbarkeit derselben Staubfäden im chloroformirten und expandirten Zustand bei gleichem ziehenden Gewichte untersucht wurde. Die Uebereinstimmung war in beiden Fällen eine durchaus vollkommene. Hierbei ist natürlich bei den contrahirten Staubfäden die Verlängerung zum Vergleiche gewählt, welche auf zugelegte 5 Gramm erfolgte, wenn die Filamente durch angehängte Gewichte annähernd zu der Länge gedehnt waren, welche die expandirten Staubfäden unter dem Zuge eines leichten spannenden Gewichtes annahmen.

Die Längswände der Parenchymzellen in den Staubfäden der Cynareen besitzen in tangentialer Richtung eines Zellenquerschnittes jedenfalls eine andere, wahrscheinlich sehr geringe Dehnbarkeit. Gelingt es aus den Staubfäden von Cynara oder Centaurea Jacea Längsschnitte zu gewinnen, an denen einzelne Parenchymzellen möglichst frei gelegt sind, so dehnen diese sich, falls sie unverletzt sind, auf Wasserzutritt ansehnlich aus und erreichen nachweislich sogar eine etwas bedeutendere Länge als im unverletzten Staubfaden, in dem Epidermis und Gefässbündel passiv gedehnt werden müssen. Diese ansehnliche Ausdehnung der Zellen erfolgt aber in erkennbarer Weise nur in der Längs-

richtung, auch wölbt sich hierbei die Seitenwand der Zelle nur sehr wenig convex nach Aussen. Da aber die Verlängerung der Zellen auf Aufnahme von Flüssigkeit beruht und die Elasticitätskräfte der Membran sich nach den obigen Versuchen bei der Expansion nicht ändern, so wächst bei der Ausdehnung der hydrostatische Druck im Innern und erreicht, wie ich noch später zeigen werde, einen hohen Werth. In Folge dieses von Innen her wirkenden Druckes würde die Seitenwand der Zelle sich nothwendig nach Aussen hervorwölben müssen, wenn ihr eine gleiche Dehnbarkeit in tangentialer und longitudinaler Richtung zukäme. In letzterer Richtung ist also die Dehnbarkeit jedenfalls ungleich grösser als in der tangentialen, doch können nebenbei in der Molecularstructur der Membran Ursachen gegeben sein, welche die Ausbauchung der Zellwand mit verhindern helfen.

Eine gewisse Dehnbarkeit der elastischen Querwand ist unschwer dadurch nachzuweisen, dass man in einen Staubfaden mit einer Nadel einsticht, worauf man nach den geöffneten Zellen hin die Querwände der nicht verletzten Zellen immer convex hervorgewölbt findet[1]. Wenn man nun auch am unverletzten Staubfaden manche Querwände schon ein wenig convex in die angrenzende Zelle gebogen trifft, so ist diese Ausbiegung doch fast immer ziemlich gering, zudem bald nach der einen, bald nach der andern Seite gewandt, so dass man bei dem angegebenen Versuche volle Gewissheit über die Dehnbarkeit der Querwände gewinnt. Aus diesem Verhalten lässt sich aber noch nicht folgern, dass die Dehnbarkeit der Querwand nach den in ihrer Fläche liegenden Dimensionen eine grössere ist, als die Dehnbarkeit der Seitenwand in zur Längsachse der Zelle senkrechter Flächenrichtung. Denn abgesehen von andern Gründen lastet ja auf den Seitenwänden des Parenchyms der in radialer Richtung wirkende Druck der passiv gedehnten Epidermis. Es stehen mir keine Versuche zu Gebote, welche eine Antwort auf die eben aufgeworfene Frage zu geben erlaubten.

Nachdem nun dargethan wurde, dass bei der Reizung die Zellen sich einfach in der Längsrichtung verkürzen, indem Flüssigkeit aus ihnen austritt und die Elasticität der Membranen beleuchtet worden ist, wollen wir jetzt die Betheiligung der einzelnen Gewebeformen bei Contraction und Expansion der Filamente untersuchen.

Wenn man ein Stück aus einem Filamente von Cynara Scolymus durch einen Medianschnitt spaltet, so krümmen sich die beiden Hälften ein klein wenig concav gegen die Schnittfläche. Beim Einlegen in

1) Vergl. Nägeli und Schwendener, Mikroskop p. 404.

Wasser geht die Krümmung schnell in die umgekehrte, also in eine gegen die Epidermis concave über, um nach Verlauf einer kürzeren Zeit wieder in die frühere, nach der Schnittfläche concave Krümmung zurückzukehren. Es ergiebt sich aus diesem Experimente, dass das Gefässbündel dem Expansionsstreben des Parenchyms einen grösseren Widerstand entgegensetzt, als die gleichfalls negativ gespannte Epidermis. Der sich erst allmälig wieder ausgleichende Wechsel der Krümmung beim Einlegen der eben angefertigten Schnitte in Wasser erklärt sich durch die an der Schnittfläche am schnellsten vor sich gehende Wasseraufsaugung der Zellen des Parenchyms und voraussichtlich auch, wenn auch in minderem Grade, des Gefässbündels. Die negative Spannung der Epidermis ergiebt sich bei Abtrennung eines nur aus dieser und aus Parenchym bestehenden Längsstreifens, welcher sofort seine Schnittfläche etwas convex wölbt und in Wasser gebracht diese Krümmung soweit steigert, dass eine spiralige Einrollung zu Stande kommt[1]).

In dem auf Reiz contrahirten Staubfaden ist folglich das Parenchym positiv, Epidermis und Gefässbündel aber sind negativ gespannt. Diese Spannung nimmt bei Expansion sehr zu, wie nicht nur aus dem Verhalten der Schnitte beim Einlegen in Wasser folgt, sondern wie auch chloroformirte und verlängerte Filamente bei entsprechender Section ergeben. Ob nun bei der Expansion des Staubfadens das Gefässbündel rein passiv gedehnt wird, oder ob auch seine Zellen, natürlich nur in geringerem Maasse unter Wasseraufnahme sich activ verlängern, kann ich nicht sagen, doch scheint für die dünnwandigen Zellen des Gefässbündels eine gewisse active Verlängerung nicht unwahrscheinlich, während allerdings die luftführenden Gefässe sich jedenfalls rein passiv verhalten werden. Ebenso ist nicht zu entscheiden, ob in den Zellen der Epidermis eine gewisse Expansionskraft entwickelt wird, ja man kann nicht einmal behaupten, dass diese dem mechanischen Aequivalente nach geringer als in den parenchymatischen Zellen ist. Denn man muss wohl beachten, dass die sehr verdickten und mit Cuticula überzogenen Aussenschichten der Epidermis bei gleichem ziehenden Gewichte sich wohl sicher um ein geringeres Maass dehnen werden, als die dünnwandigen Membranen der Parenchymzellen. Dieses würde aber völlig ausreichen, um die Vermehrung der negativen Spannung der Epidermis bei der Expansion des Filamentes zu erklären.

---

1) Cohn (Abhdlg. d. schles. Gesell. 1861. p. 26) giebt an, dass ein der Länge nach aufgeschnittener Staubfaden sich zur Schneckenlinie einrolle. Es wird aber wohl hier bestimmt ein Streif ohne Gefässbündel vorgelegen haben.

Bei einer Reizung sind in jeder Parenchymzelle die Bedingungen zur Contraction gegeben, denn mit dem Sinken des von Innen her wirkenden hydrostatischen Druckes muss sich die durch denselben gedehnte elastische Zellmembran nothwendig vermöge ihrer Elasticitätskraft um ein entsprechendes Maass verkürzen. In dem Staubfaden vermehren nur die auch nach Reizung noch negativ gespannten Gewebecomplexe — Gefässbündel und Epidermis — das Maass der Verkürzung der Parenchymzellen. Die jeweilige Länge eines Staubfadens ist ja immer die Resultirende aus der Gesammtheit der in den Zellen desselben entwickelten Expansionskräfte und dem Widerstand aller gedehnten elastischen Membranen. Die Ansicht Morren's[1]) und Hofmeister's[2]), dass das Parenchym die Expansion vermittle, die Contraction aber durch die Elasticität der gedehnten Epidermis zu Stande komme, ist demnach nicht ganz richtig. Cohn legt in seiner zweiten Publication[3]) der Cuticula das Hauptgewicht für die Verkürzung bei, dagegen nahm unser Autor früher[4]) allerdings für das gesammte Parenchym Contractions- und Expansionskraft in Anspruch, ohne indess die Bedeutung der passiv gedehnten Gewebecomplexe zu erkennen. Ueber die Aeusserlichkeit der Erscheinung der Reizbewegung wurde schon einleitend berichtet. Hier will ich noch bemerken, dass bei einer einseitigen leichten Berührung der von der Antherenröhre getrennte Staubfaden sich zunächst nach der berührten Seite hin krümmt, um dann schnell, und zwar nicht selten unter schlängelnden Bewegungen, in eine nach der andern Seite concave Krümmung überzugehen und darauf sich gerade zu strecken. Es braucht kaum erwähnt zu werden, dass dieses Verhalten auf ungleichzeitiger Verkürzung der successiv gereizt werdenden Zellen beruht[5]).

Die Contraction bleibt, wie schon Covolo fand[6]), immer auf den berührten Staubfaden beschränkt, wenn dafür gesorgt ist, dass die anderen Filamente keine Erschütterung erfahren. Auch das Einschneiden in die Röhre der Corolle hat keine Reizbewegung der Filamente zur Folge; nur dann contrahirte sich ein Staubfaden, wenn unmittelbar unterhalb seiner Insertion ein Schnitt in die Blumenröhre geführt wurde. Wir haben also hier ein ganz anderes Verhalten wie bei Mimosa, bei welcher das Einschneiden in das Gefässbündel die Reizung, selbst sehr

1) Bullet. de l'Acad. d. Bruxelles 1842. Bd. IX. p. 57.
2) Pflanzenzelle p. 311.
3) Cohn, Zeitschrift f. wissensch. Zoologie 1863. Bd. XII. p. 371.
4) Cohn, Abhdlg. d. schles. Gesellsch. 1861. p. 28.
5) Näheres siehe bei Cohn, Abhdlg. d. schles. Gesellsch. 1861. p. 41.
6) Naturforscher 1775. p. 229.

entfernt stehender Blätter, veranlassen kann, obgleich unsere Staubfäden wohl ebenso reizbar als die Gelenke von Mimosa sind. Da indess, wie ich bei letzterer schon zeigte, die Ursachen über die Fortleitung des Reizes erst durch erneute Untersuchungen festgestellt werden müssen, so enthalte ich mich hier einer jeden Discussion. Es sei hier nur darauf aufmerksam gemacht, dass die Unfähigkeit des Parenchyms einen Reiz fortzuleiten, durchaus keinen Widerspruch gegen den Uebertritt von Flüssigkeit oder Gas in jenes Gewebe enthält. Denn die eintretende Flüssigkeit wird, sowohl bei Mimosa als bei Cynareen, schon in den dem reizbaren Gewebe zunächst angrenzenden Parenchymschichten zurückgehalten werden, während die Zusammenpressung der Luft in den der verdrängten Menge gegenüber ungeheuer grossen Intercellularräumen keine stärkere Strömung der Gase veranlassen kann.

Bei Staubfäden, welche sich in einem sehr reizbaren Entwicklungsstadium befinden, und solche hatte ich bis dahin allein im Auge, ist das Gefässbündel auch im contrahirten Filamente noch passiv gedehnt, und eine mikroskopische Untersuchung zeigt, dass eine wellenförmige Biegung weder des Gefässbündels, noch der Gefässe, wie sie Cohn[1]) angiebt, niemals vorkommt. Eine solche tritt immer erst dann ein, wenn sich der dem Absterben entgegengehende Staubfaden schon sehr ansehnlich verkürzt hat. Ob diese wellenförmige Biegung vielleicht schon beginnt, wenn der Staubfaden noch Spuren von Reizbarkeit zeigt, oder erst später, das habe ich nicht festgestellt. Die Ursache dieses Verhaltens werden wir gleich in der negativ gespannten Epidermis kennen lernen.

Früher schon wurde mitgetheilt, dass die Reizbarkeit der Staubfäden nach Erreichung eines Optimums allmälig nachlässt, um endlich zu erlöschen. Mit dem Sinken der Reizbarkeit verkürzen sich die Filamente so weit, dass sie endlich nur noch die halbe frühere Länge besitzen können. Daraus, dass die Expansion der Staubfäden durch Wasseraufnahme geschieht, folgt, dass die Verkürzung der Staubfäden ihren Grund in einem sinkenden Turgor der Zellen hat. Diese Verkürzung ist in der That nichts anderes als eine Folge der erlöschenden Lebensthätigkeit, indem der Zellinhalt nicht mehr den früheren Turgescenzzustand zu erhalten vermag. Deshalb dehnen sich auch solche Staubfäden in Wasser gelegt nicht merklich aus und ebenso erfolgt die Verkürzung an in Wasser oder in dampfgesättigter Luft verweilenden

---

1) Abhdlg. d. schles. Gesellschaft 1861. p. 27. Zeitschrift f. wiss. Zoologie 1863. p. 369.

Staubfäden. Cohn[1]) hat übersehen, dass der Turgor absterbender Gewebe vernichtet wird, indem er sich gegen ein Welkwerden und Austrocknen der Gewebe des sich verkürzenden Staubfadens erklärt.

Wir haben schon erfahren, dass die Epidermis an gereizten Staubfäden noch negativ gespannt ist und sich beim Isoliren sehr stark verkürzt. Diesem Bestreben kann die Epidermis nun Folge leisten, wenn der Turgor der Zellen sinkt und wenn dieser vernichtet ist, so vermögen die zarten Zellwände des Parenchyms im Staubfaden von Centaurea der Elasticitätskraft der Epidermis (wahrscheinlich wesentlich nur der verdickten Aussenwandung) nicht Widerstand zu leisten. Die Folge davon ist, dass die Zellwände quer verlaufende Falten bekommen, die sehr dicht nebeneinander liegen und die Zellwandung im Längsschnitt schlangenlinig gebogen erscheinen lassen. Ebenso ist der Turgor der Zellen des Gefässbündels schon gesunken, wenn die Epidermis noch passiv gedehnt ist und so kommt es, dass sich auch das Gefässbündel wellenförmig hin und her biegt, indem es zugleich seinen Verband mit den absterbenden angrenzenden Parenchymzellen theilweise aufgiebt, diese auch, wo es nöthig ist, durch eine Ausbiegung seitlich zusammenpresst. Sind die Wände der Parenchymzellen aber etwas kräftiger gebaut und leisten sie der Elasticitätskraft der passiv gedehnten Epidermis einen genügenden Widerstand, so kommt natürlich jene Querwellung nicht zu Stande, wie sie denn in der That bei Cynara Scolymus fehlt oder nur schwach ausgebildet ist.

Da mit dem Absterben der Zellen die Fähigkeit zu turgesciren nachlässt, so kann natürlich auch die mit der Verkürzung auftretende Querwellung der Zellwände beim Einlegen der Filamente in Wasser nicht verschwinden. Werden aber Parenchymzellen von der Epidermis getrennt und in Wasser gebracht, so verschwinden begreiflicherweise die Wellungen theilweise oder auch ganz, namentlich, wenn ein wenig Kali zugesetzt wird. Dagegen kann man die Querwellung in jedem Staubfaden hervorrufen, wenn man den Turgor der Zellen vernichtet, wie dieses z. B. durch Einlegen in verdünnte Zuckerlösung erreichbar ist.

In dem Gesagten liegt schon die Widerlegung einer von Cohn[2]) ausgesprochenen Ansicht, dass bei der Contraction eines gereizten Staubfadens eine Querwellung der Wand eintrete. Es wurde übrigens bereits durch Unger[3]) gezeigt, dass ein im reizempfänglichen Zustand

1) Abhdlg. d. schles. Gesellschaft 1861. p. 19.
2) Zeitschrift f. wissensch. Zoologie 1863. Bd. XII. p. 370.
3) Botan. Ztg. 1863. p. 350.

befindliches Filament auch nach der Contraction niemals eine Querwellung der Längswand der Zellen besitzt.

Die mit dem Absterben sich verkürzenden Staubfäden sind noch vollkommen elastisch und so lange sie nicht ganz ausgetrocknet sind, in noch höherem Maasse dehnbar, als die noch reizbaren Staubfäden. Wenn ich auch keine bezüglichen Versuche anstellte, so dürfte doch wohl bestimmt die absolute Länge, zu welcher ein verkürzter Staubfaden verlängert werden kann, keine ansehnlichere sein, als die, bis zu welcher ein noch turgescirendes Filament dehnbar ist. Bei diesem sind eben die Zellwände schon um ein gewisses Maass gedehnt, bei den verkürzten Staubfäden indess nicht und zudem werden bei einem Zuge die Querwellungen der Wände der Parenchymzellen und die Biegungen des Gefässbündels ausgeglichen, wenn solche vorhanden sind.

Bei einer geringen Anzahl von Versuchen fand ich constant, dass die aus demselben Blüthenstand stammenden turgescirenden fünf Staubfäden von Cynara Scolymus schon bei einem geringeren angehängten Gewicht, nämlich bei 25 bis 30 Gramm zerrissen, während bei den durch Absterben verkürzten Filamenten eine Zerreissung erst nach Anhängen von 35 bis 40 Gramm stattfand. Die Ursache dürfte auch hier nur darin liegen, dass bei dem turgescirenden Staubfaden die elastischen Membranen bereits durch den Turgor um ein gewisses Maass gedehnt waren.

Wenn wir uns nun der Frage zuwenden, in welcher Weise der Austritt von Flüssigkeit aus einer Zelle vermittelt wird, so haben wir im Auge zu behalten, dass die Elasticität der Membranen in einem contrahirten und expandirten Staubfaden, wie ich schon mittheilte, dieselbe ist. Es wurde freilich nur die Elasticität durch Chloroform unempfindlich gemachter und wieder verlängerter Filamente untersucht, allein es folgt doch hieraus mit Sicherheit, dass die Expansion ohne Aenderung der elastischen Kräfte der Zellwände vor sich gehen kann. Damit ist aber eine denkbare Möglichkeit bezüglich der Reizbewegung widerlegt; diese kann nicht dadurch zu Stande kommen, dass die Membran in Folge des Reizes eine gesteigerte Elasticität bekommt und durch einen verstärkten auf den Zellinhalt ausgeübten Druck ein Quantum Flüssigkeit hervorpresst. Die Wiederverlängerung der Filamente müsste in einem solchen Falle in dem Maasse durch Wasseraufnahme

stattfinden, als die Membranen die vermehrte elastische Kraft wieder einbüssen.

Freilich könnte noch der Gedanke auftauchen, dass die elastische Kraft der Membran nur eine ganz vorübergehende Steigerung in Folge der Reizung erführe. Dieses wird aber durch folgendes Experiment widerlegt, dessen Ausführung sich unmittelbar der Art und Weise anschliesst, wie ich das zur Dehnung von Staubfäden nöthige Gewicht bestimmte. Die vereinten fünf Staubfäden wurden durch ein leichtes Gewicht gespannt, welches eben hinreichte um sie gerade zu strecken und dann unter dem Zuge dieses Gewichtes in Ruhe sich verlängern gelassen. Nun wurde gereizt und bestimmt, wie viel Gewicht der Wagschale aufgelegt werden musste, um die contrahirten Staubfäden genau auf die Länge der expandirten und reizempfänglichen zu dehnen. Nach Entfernung des zugelegten Gewichtes liess ich die Staubfäden sich wieder in Ruhe verlängern, stellte nun eine durch feine Schraube bewegliche kleine Platte so, dass die ebene Wagschale gerade auf ihr ruhte und legte dann wieder das Gewicht auf, welches nöthig befunden war, um die contrahirten Staubfäden auf ganz gleiche Länge zu dehnen, wie sie in Ruhe gelassen erreichten. Bei grösster Vorsicht kann das Auflegen dieses Gewichtes ohne Reizung geschehen, doch zog ich es meist vor der Sicherheit halber eine weitere $^1/_4$ Stunde zu warten, ehe ich nun den Erfolg einer Reizung beobachtete. Es ist klar, dass die Filamente sich nicht verkürzen können, wenn die Elasticitätskraft der Wände unverändert bleibt, denn es wird ja sogleich die Wagschale von der unterstützenden Fläche gehoben und dann zieht an den Staubfäden das Gewicht, welches sie nach der Contraction zu der Länge des expandirten Zustandes zu dehnen vermag. Würde indess durch die Reizung die Elasticität der Wände vorübergehend gesteigert, dann müssten die Staubfäden nothwendig eine gewisse Contraction erfahren, was indess factisch nicht der Fall ist. Ich beobachtete nämlich eine an dem der Wagschale zugewandten Ende eines Staubfadens befindliche Marke, die bei etwa 100facher Vergrösserung vermittelst eines Mikrometertheilstriches fixirt wurde, konnte aber an dieser Marke immer nur ein sehr geringes momentanes Zucken wahrnehmen, welches eine Verschiebung um 2 bis 5 Theilstriche (à 0,00885 Millim.) hervorrief. Bei der Einstellung der Marke wird die gesammte Verkürzung eines Filamentes gemessen, die sich auf 56 Theilstriche belaufen würde, wenn jenes 5 Millim. lang wäre und sich um 10 Procent contrahirte. Es ist also der strenge Beweis geführt, dass die elastische Kraft der Membranen auch im Momente des Reizes nicht gesteigert wird.

Das eben beschriebene Experiment bedarf natürlich bei seiner Ausführung der grössten Sorgfalt, doch begnüge ich mich hier nur auf einige Puncte hinzuweisen. Die Reizung muss vor allen Dingen durch eine sehr leise Berührung geschehen, die man entweder von einem Anderen ausführen lassen, oder wie ich es that, durch eine geeignete Vorrichtung appliciren kann, welche gleichzeitige mikroscopische Beobachtung gestattet. Dann muss natürlich die Befestigung der Antheren und der Corollenröhre auf das Sorgfältigste vorgenommen werden und ebenso die des benutzten Fadens. Ich wandte hier einen gewichsten Seidenfaden an, der immer erst Stunden lang mit einem Gewicht, wie es beim Versuche in Betracht kam, gespannt gehalten war und ausserdem so kurz genommen wurde, als es nur irgend anging.

Es ist noch zu bemerken, dass gereizte Staubfäden, wenigstens solche die im günstigsten Entwicklungsstadium stehen, fast immer ganz genau auf die vorherige Länge zurückgehen, wenn man die äusseren Bedingungen gleich hält und dieses auch dann geschieht, wenn die Filamente dazwischen einmal gewaltsam gedehnt werden, wobei ich übrigens nur solche Dehnungen im Auge habe, welche mit Vermeidung von Stoss geschahen, indem auf die unterstützte Wagschale ein Gewicht gelegt wurde, das erst beim Herabschrauben der unterstützenden Platte spannend wirkte. Endlich führe ich noch an, dass zum Schluss des Experimentes immer noch einmal festgestellt wurde, ob der contrahirte Staubfaden durch ein spannendes Gewicht in gleichem Maasse wie zuvor gedehnt wurde. Nachdem durch die mitgetheilten Versuche erwiesen ist, dass die Membranen bei der Reizbewegung ihre Elasticität und Dehnbarkeit nicht ändern, so bleibt, falls die Membranen überhaupt reizempfänglich sind, d. h. bei der Contraction in anderer Weise als durch ihre elastische Kraft mitwirken, nur die Möglichkeit, dass die Permeabilität der Zellwandung für Flüssigkeiten in Folge der Reizung eine Steigerung erfahre. Anderseits ist es möglich, dass die Reizbewegung ohne irgend eine Veränderung in der Zellmembran zu Stande kommt, indem allein das Protoplasma von dem Reize berührt wird, in Folge dessen aus jenem Flüssigkeit unter dem von der elastischen Membran ausgeübten Drucke hervortreten könnte. Eine active, mit Ausstossung von Flüssigkeit verbundene Contraction des Protoplasmas würde hierbei nicht nothwendig sein, es könnte unter den gegebenen Verhältnissen genügen, dass z. B. der Primordialschlauch permeabler für Flüssigkeit würde.

Ehe wir jedoch diese Fragen weiter erörtern, will ich erst zeigen, dass es durchaus keiner besonders permeablen Membran bedarf, um

das Quantum von Flüssigkeit hindurchzulassen, welches eine Zelle bei der auf Reiz erfolgenden Verkürzung abgeben muss. Zunächst wollen wir aber einen Blick auf den Druck werfen, welchen die elastischen Membranen auf den Zellinhalt ausüben. Für diesen Druck können wir bei den Staubfäden der Cynareen ein Maass in dem Gewichte finden, welches zur Wiederverlängerung eines contrahirten Filamentes nothwendig ist. Bei der Reizbewegung findet nämlich, wie gezeigt wurde, nur eine Verkürzung des Längsdurchmessers der Zellen statt und die Elasticität der Membranen erfährt in der gleichsinnigen Richtung keine Veränderung.

Es ergab sich nun bei den früher mitgetheilten Versuchen, dass ein Gewicht von 2 Gramm einen einzelnen Staubfaden von Cynara Scolymus um 8,7 bis 13 Procent verlängerte. Um jedenfalls zu geringe Werthe zu erhalten, wollen wir hier einen Staubfaden von der beobachteten grössten Dehnbarkeit (13 Procent) zu Grunde legen und annehmen, dass sich ein Filament von Cynara um 10 Procent verlängere, folglich ungefähr 1,5 Gramm (1,45 Gr.) der Arbeit entsprechen, welche der sich expandirende Staubfaden leistet. Die Fläche des Querschnittes eines Filamentes berechnet sich aus den gemessenen Mittelwerthen der beiden Achsen — 0,2 Millim. und 0,42 Millim. — annähernd zu 0,066 Qu.-Millim. (0,06596 Qu.-Millim.), wenn der Querschnitt als Ellipse betrachtet wird [1]). Da bei der etwas nierenförmigen Form die wirkliche Fläche des Querschnittes ein wenig grösser sein dürfte, so wollen wir dieselbe ganz übertrieben hoch zu 0,1 Qu.-Millim. annehmen. Auf diese Fläche übt eine Wassersäule von 1 Millim. Höhe einen Druck von 0,1 Milligramm, dem Gewichte von 1,5 Gramm würde also eine 15 Meter hohe Wassersäule entsprechen. Um einen contrahirten Staubfaden an seiner Expansion zu verhindern, müsste hiernach eine Wassersäule von 15 Meter Höhe auf dessen Querschnitt drücken. Es lastet dann natürlich auf jedem Flächenstück des Querschnittes, also auch auf jeder der aus den cylindrischen Zellen gebildeten Längsreihen der Druck einer gleich hohen Wassersäule und da nach einem bekannten Gesetze die Verlängerung, resp. Compression, eines elastischen Körpers seiner Länge proportional ist, so ist selbstverständlich auch der Druck einer Wassersäule von 15 Meter das Maass für die Expansionskraft einer einzelnen Zelle.

---

1) Das Gewicht eines 5 Millim. langen Staubfadens berechnet sich hiernach zu 0,33 Milligramm. Eine Wägung einer Anzahl Filamente gab für einen Staubfaden als Mittelwerth 0,34 Milligramm.

Der oben bezüglich der Expansionskraft entwickelte Werth muss schon deshalb zu gering ausgefallen sein, weil ein besonders leicht dehnbares Filament von Cynara und eine zu grosse Fläche des Querschnitts zu Grunde gelegt wurde. Ferner sind auch die lufterfüllten Intercellularen vernachlässigt, welche wohl sicher 20 Procent oder mehr Querschnittsfläche einnehmen und die für die Expansionskraft des Filamentes gleichgiltig sind, da ja diese vermittelt wird durch den Druck, welchen der Zellinhalt auf die Querwand der einzelnen Zellen ausübt. Auch wurde nicht berücksichtigt, dass bei dem sich verlängernden Staubfaden die negative Spannung von Gefässbündel und Epidermis wächst, dass also in den Parenchymzellen ein Ueberschuss von Kraft entwickelt werden muss, um die genannten Gewebecomplexe passiv in die Länge zu ziehen. Endlich kommen bei sehr reizbaren Staubfäden von Cynara ansehnlichere Verkürzungen als 10 Procent vor und bei unseren Dickenmessungen, wozu freilich ausschliesslich besonders reizbare Filamente gewählt wurden, fanden wir im Mittel 12 Procent Verkürzung. Wenn wir hiernach die nach unserer Berechnung sich ergebende Kraft der Expansion dem Drucke einer Wassersäule von 20 Meter gleichsetzen, so haben wir immer noch einen geringen Werth angenommen. Denn wenn wir nur die Fläche des Querschnittes der angewandten Staubfäden voraussichtlich noch etwas zu hoch, nämlich zu 0,08 Qu.-Millim. annehmen und der lufterfüllten Räume halber um $^1/_5$ vermindern, so gelangen wir schon zu einer drückenden Wassersäule von 23 Meter, und doch ist dabei die passive Dehnung von Epidermis und Gefässbündel noch nicht in Rechnung gezogen.

Bedenkt man nun ferner, dass in Folge der Contraction des Filamentes die passive Dehnung der Wände nur vermindert ist und, wie ich weiterhin zeigen werde, die elastischen Kräfte der Membranen noch recht ansehnliche sind, so würden wir zu dem Schluss kommen, dass die durch die Dehnung der elastischen Wände eines Staubfadens repräsentirte Kraft dem Drucke einer Wassersäule von weit über 30 Meter Höhe gleich käme.

So kolossale Kräfte sind als hydrostatischer Druck in den Zellen nicht möglich, namentlich wenn man bedenkt, dass auch an Längsschnitten freiliegende und unverletzte Parenchymzellen sich in Wasser expandiren und augenscheinlich, wie dieses ja auch zu erwarten ist, über das Maass verlängern, welches sie im unverletzten Staubfaden zu erreichen vermögen. An solchen freiliegenden Zellen bauchte sich aber die Seitenwand kaum etwas nach Aussen aus, während bei einer drei Atmosphären überschreitenden hydrostatischen Druckkraft die zarte

Membran wohl unvermeidlich zerreissen würde. Nach früheren Erörterungen scheint es aber gewiss, dass die Dehnbarkeit der Seitenwand viel ansehnlicher in longitudinaler, als in hierzu senkrechter Flächenrichtung ist und hierauf bauend lässt sich nun in der That zeigen, dass unsere Methode der Berechnung zu hohe Werthe für die Elasticitätskraft der Membranen liefern musste.

Wird irgend ein unorganisirter Körper gedehnt, so nimmt dessen Volumen um etwas zu und bei einem Hohlcylinder wird ein eventueller hydrostatischer Druck im Inneren sich in Folge dessen natürlich vermindern [1]). Nun ist aber z. B. bei einem Kautschukschlauche die Elasticität in den verschiedenen Flächenrichtungen eine annähernd gleiche, sobald dieses aber bei einem Hohlcylinder nicht der Fall ist, die Dehnbarkeit in tangentialer Richtung eines Querschnittes eine geringere als in der mit der ziehenden Kraft parallelen Richtung ist, wird die Volumenzunahme des betreffenden Cylinders eine ungleich grössere sein, sie ist ja, wenn gar keine Quercontraction eintritt, durch das bei der Verlängerung hinzukommende Cylinderstück gegeben. Bei der Dehnung einer turgescirenden Zelle, deren Volumen zunimmt, wird bei der Verlängerung nicht allein die wirkliche Elasticität der Membran, sondern auch die elastische Kraft, je nach Umständen ganz oder theilweise gemessen, welcher zuvor der hydrostatische Druck des Zellinhaltes das Gleichgewicht hielt.

Verhältnisse der eben angedeuteten Art sind es nun in der That, welche das zur Dehnung nöthige Gewicht bei turgescirenden Staubfäden wesentlich vergrössern. Wie ich schon bemerkte und wie ich auch noch darthun werde, sind in den auf Reiz contrahirten Staubfäden die Zellwände noch ansehnlich gedehnt, der Turgor der Zellen ist nur vermindert, nicht aufgehoben, während derselbe bei den sich mit dem Alter verkürzenden Staubfäden mehr und mehr sinkt um endlich ganz zu verschwinden. Hierbei findet bei den Staubfäden von Cynara Scolymus eine Querwellung der etwas massiver gebauten Seitenwände, welche bei Centaurea so auffallend ist, nur in geringem Grade statt. An solchen contrahirten Staubfäden ist es möglich die wirkliche Elasticität der gesammten Zellwände annähernd zu bestimmen, indem man natürlich verkürzte Staubfäden zur Untersuchung wählt, in denen der Turgor der Zellen ganz oder fast ganz verschwunden ist. Die gefundenen Werthe

---

1) Dieses zeigen z. B. unmittelbar gewisse Versuche Wertheim's, welche zur Bestimmung der Volumenzunahme gedehnt werdender elastischer Körper mit Hohlcylindern angestellt wurden. Vgl. Wüllner, Physik II. Aufl., 1870 Bd. I. p. 177.

gelten freilich zunächst nur für die Membranen der Staubfäden, welche sich mit erlöschender Lebensthätigkeit verkürzten, indess ist vorauszusehen, dass die Dehnbarkeit der Membranen hierbei sich nicht oder nicht wesentlich änderte, so lange noch Flüssigkeit in genügender Menge in den Zellen sich findet, die Zellwände also noch mit Wasser imbibirt sind. Deshalb wählte ich für meine Experimente solche Staubfäden, deren Zellen eben erst den Turgor verloren hatten. Ein längeres Einlegen der zum Versuche benutzten Staubfäden in verdünnte Zuckerlösung und Messung der Distanz zweier Marken vorher und nachher erlaubte ja immer festzustellen, ob der Turgor der Zellen der fraglichen Filamente vernichtet war. Auch wurden einigemal die verkürzten Staubfäden einige Stunden in Wasser gelegt und dann erst das Verhältniss zwischen ziehendem Gewicht und Verlängerung in früher beschriebener Weise bestimmt. Dieses geschah aber immer, nachdem die Staubfäden schon ansehnlich durch ein angehängtes Gewicht verlängert waren, um zunächst die eventuellen Querfaltungen der Membranen auszugleichen.

Bei den mit je 5 natürlich verkürzten Staubfäden angestellten Versuchen ergab sich, dass zur Verlängerung eines einzelnen Staubfadens um 10 Procent ein Gewicht von 0,4 bis 0,66 Gramm ausreichte, während zu einer gleichen Verlängerung eines völlig turgescirenden Staubfadens 1,45 bis 2,3 Gramm nöthig waren, also nahezu ein $3^1/_2$ mal so grosses Gewicht[1]. Deshalb müssen wir aber auch den für die Expansionskraft eines Staubfadens oben abgeleiteten, zu hohen, dem Drucke einer Wassersäule von etwa 20 Meter entsprechenden Werth durch $3^1/_2$ dividiren, um die Arbeitsgrösse kennen zu lernen, welche ein um 10 Procent sich verlängernder, auf Reiz contrahirter Staubfaden zu leisten hat. Diese entspricht immer noch dem Drucke einer Wassersäule von 5,7 Meter, welcher Werth, sofern wir die Parenchymzellen im Auge haben, nach den vorhin gemachten Auseinandersetzungen entschieden zu gering ist.

---

1) Bei Villari's Versuchen (Poggdf. Annal. 1871. Bd. 219. p. 93) wurde durch ein Gewicht von 0,07 bis 0,15 Kilo die Länge eines noch nicht gedehnten Kautschukstreifens von 1 Qu.-Millim. Querschnitt verdoppelt. Bei einem Querschnitt von 0,066 Qu.-Millim., wie er den Filamenten von Cynara zukommt, würde demnach durch ein Gewicht von etwa 4,5 bis 10 Gramm eine Verdoppelung der Länge bei Kautschuk herbeigeführt werden, d. h. durch ein nahezu gleiches Gewicht, wie es zu einer Verlängerung der natürlich verkürzten Filamente von Cynara um 100 Procent nöthig ist (4 bis 6,6 Gramm). Da aber bei den Filamenten allein die Elasticität der Längswände gemessen wird und der Querschnitt dieser einen nur geringen Bruchtheil des Staubfadenquerschnitts ausmacht, so ist die Elasticität der Membranen von Cynara weit grösser als die des Kautschuks.

Der Unterschied in der Dehnbarkeit der durch Erlöschen des Turgors und der auf Reiz verkürzten Staubfäden scheint entschieden zu gross, um sich durch eine so geringe Volumenzunahme und dem damit sinkenden hydrostatischen Druck erklären zu lassen, wie sie ein aus einem unorganisirten Körper gebildeter Schlauch erfährt. Fehlen nun auch die Prämissen um eine eingehende Discussion anzustellen, so haben wir doch hier einen weiteren Wahrscheinlichkeitsgrund dafür, dass die Dehnbarkeit der elastischen Seitenwand in tangentialer Richtung eines Zellenquerschnitts eine geringere ist, als in mit der Längsachse paralleler Richtung, wie es ja auch aus früheren Auseinandersetzungen hervorgeht.

Die zur Wiederverlängerung eines auf Reiz verkürzten Staubfadens nöthige Arbeitsleistung entspricht natürlich nur einem Theil der gesammten elastischen Kraft der Membranen in dem expandirten Filamente, denn bei der Contraction blieb immer eine ansehnliche Dehnung zurück. Es folgt dieses schon aus den über die natürliche Verkürzung mitgetheilten Thatsachen, lässt sich aber durch Einbringen der ziemlich durchsichtigen Filamente von Centaurea in verdünnte Zuckerlösung bei richtiger Leitung des Versuches leicht zeigen. Die Staubfäden von Centaurea verkürzen sich in Folge des Absterbens weit mehr als die von Cynara, bei welchen, wie schon bemerkt wurde, die Querwellung der etwas kräftiger gebauten Wände eine nur mässige ist. Ich habe versäumt sowohl genaue Messungen über die Verkürzung der Staubfäden von Cynara beim Absterben anzustellen, als auch zu ermitteln, welches Maass der Contraction im Augenblick des Erlöschens des Turgors der Parenchymzellen eingetreten ist. Jedenfalls hat sich die Länge der Filamente, vom expandirten Zustand ab gerechnet, aber um mehr als 20 Procent vermindert, ehe der Turgor der Parenchymzellen verschwindet, und würden also, nach einer auf Reiz erfolgenden Verkürzung von 10 Procent, die elastischen Membranen der Parenchymzellen mindestens noch um weitere 10 Procent gedehnt sein. In diesem Falle würde also die elastische Kraft der gedehnten Staubfäden dem Drucke einer Wassersäule von 11,4 Meter entsprechen, d. h. dem doppelt so hohen Drucke, wie wir ihn vorher für eine Verkürzung der expandirten Staubfäden um 10 Procent ableiteten. Wie dieser Werth absichtlich unter Voraussetzungen gefunden ist, die ihn zu gering ergeben müssen, so haben wir eben auch wieder eine wahrscheinlich zu geringe Verkürzung des Staubfadens bis zum Verschwinden des Turgors der Parenchymzellen angenommen. Jedenfalls habe ich mit aller Sicherheit nachgewiesen, dass vermöge der elastischen Kraft der Membranen ein

ansehnlicher Druck auf dem Zellinhalt lastet, welcher bei den expandirten Staubfäden von Cynara dem Drucke einer Atmosphäre sicher gleich kommt[1]. Wie hoch bei den Filamenten anderer Cynareen der durch die elastische Kraft der gedehnten Membranen ausgeübte Druck ist, habe ich nicht festzustellen gesucht.

Nach Feststellung, dass die aus den Zellen austretende Flüssigkeit unter hohem Drucke filtrirt, wollen wir prüfen, ob die Membranen der Staubfäden der Cynareen eine besondere Permeabilität besitzen müssen, um die bei einer Reizung austretende Flüssigkeit innerhalb der kurzen Zeit einer Contraction durchzulassen. Die cylindrischen Zellen stehen, wie bekannt, mit nur relativ kleinen Flächenstücken der Seitenwandung in Verband und diese mag wohl zumeist mit mehr als $^3/_4$ ihrer Fläche an die lufterfüllten Intercellularräume stossen, in welche die austretende Flüssigkeit ihren Weg nimmt.

Die cylindrischen Parenchymzellen von Cynara Scolymus sind im Mittel etwa 0,06 Millim. hoch und messen 0,02 Millim. im Durchmesser. Wenn wir nun eine solche Zelle ohne Veränderung des Durchmessers sich um den hohen Werth von 20 Procent verkürzen lassen, so muss aus derselben eine Flüssigkeitsmenge von 0,00000376 Cub.-Millim. durch die freie Seitenwandung in die Intercellularen treten. Die mittlere Höhe der sich auf 0,048 Millim. verkürzenden Zelle ist 0,054 Millim., wofür sich eine freie Fläche von 0,00254 Qu.-Millim. berechnet, wenn wir den vierten Theil der ganzen Seitenfläche mit den anstossenden Zellen zusammenhängend annehmen. Durch 1000 Qu.-Millim. Fläche muss dann die geringe Menge von 1,48 Milligramm Flüssigkeit treten und zwar innerhalb der Dauer einer Reizbewegung, die wir nur als 1 Secunde ansehen wollen, während sie factisch etwas längere Zeit in Anspruch nimmt. Innerhalb einer Secunde filtrirten aber bei Versuchen von W. Schmidt durch Kalbsblase bei einer Fläche von 1000 Qu.-Millim. und einem Wasserdruck von 2,5 Meter 108 Milligramm Flüssigkeit[2].

---

1) Bei Versuchen von Hales vermochten decapitirte Weinstöcke im Maximum eine Wassersäule von 36 Fuss Höhe hervorzupressen. (Sachs, Experimentalphys. p. 200.) Es sei hier bemerkt, dass in den Zellen der Cynareenstaubfäden entschieden mehr Glycose enthalten ist, als in den Zellen des blutenden Weinstockes.

2) W. Schmidt, Poggendorf's Annalen 1856 Bd. 175 p. 347. Eine kreisförmige Fläche, deren Durchmesser 60 Millim. war, liess innerhalb 1 Stunde 110,78 Gramm Flüssigkeit durch. In welcher Weise die Dehnung elastischer Membranen auf die filtrirende Wassermenge influirt, ist unbekannt. Uebrigens fanden sowohl Schmidt als Becquerel, dass bei längerer Dauer des Versuches die Filtrationsgeschwindigkeit thierischer Blasen zunahm, indem sich die Fläche derselben ein wenig vergrösserte.

Wenn nun auch in anderen Fällen bei Versuchen mit Herzbeutel unter dem Drucke einer Wassersäule von 1,2 bis 1,7 Meter geringere Mengen Flüssigkeit innerhalb einer Secunde filtrirten, so war doch im ungünstigsten Falle die durch 1000 Qu.-Millim. Fläche gehende Flüssigkeitsmenge etwas grösser als 3 Milligramm [1]), meist indess überstieg sie 20 Milligramm. Die Ausflussmengen nehmen aber mit wachsendem Drucke zu und zwar nach W. Schmidt [2]) in einem schnelleren Verhältniss als die Druckkräfte, während nach Becquerel [3]) die filtrirenden Flüssigkeitsmengen der Pressung proportional sind, wie dieses nach Poiseuille [4]) auch für Capillarröhren von einiger Länge gilt. Also selbst dann, wenn keine so hohen Druckkräfte in unseren Zellen vorhanden wären und wenn die Reizbewegung innerhalb der zu kurz gewählten Zeit von einer Secunde stattfände, so brauchten die Zellmembranen bei Cynara noch lange nicht so permeabel für Flüssigkeit zu sein, als es thierische Blasen sind, während die ungleich geringere Dicke unserer Membranen eher eine grössere als geringere Durchlässigkeit vermuthen lässt.

Auch die Wassermengen, welche bei Versuchen von Nägeli und Schwendener [5]) unter dem Drucke einer Atmosphäre durch safterfüllte dünnwandige Gewebe drangen, zeigen eine schnellere Bewegung der Flüssigkeit durch die Membranen an, als wir sie für unsere Zwecke zu fordern haben. Denn Gewebepfropfen von 30 Millim. Dicke liessen in einer Secunde eine Wasserschicht bis zu 0,001 Millimeter, also bei einer Fläche von 1000 Qu.-Millim. ein Milligramm Flüssigkeit filtriren, welche aber durch die Wände oder innerhalb der Wände einer sehr grossen Zahl von Zellen sich zu bewegen hatte, so dass, wenn wir auch die filtrirende Wassermenge mit dem Drucke abnehmen lassen, doch auch bei geringerer Pressung jedenfalls das durch eine einzelne Membran dringende Quantum von Flüssigkeit weit grösser ausfällt, als die Flüssigkeitsmenge, welche durch die Membran einer sich contrahirenden Zelle der Filamente von Cynara auszutreten hat.

Bei Mimosa pudica ist es der kugeligen Zellen und anderer Verhältnisse halber nicht möglich, brauchbare Werthe über die Elasticitäts-

---

1) Ebenda p. 364. Eine kreisförmige Fläche, deren Durchmesser 70 Millim. war, liess in 1 Stunde bei 1,7 Meter Wasserdruck 5,117 Gramm Wasser filtriren.

2) L. c. p. 363.

3) Comptes rendus 1872. Bd. 75. p. 50. Die Versuche sind unter dem Drucke einer Wassersäule bis zu 2,5 Meter Höhe ausgeführt.

4) Wüllner, Physik 1870. II. Aufl. Bd. I. p. 293.

5) Mikroskop p. 391.

kraft der gedehnten Membranen und überhaupt des Druckes, unt erdem Flüssigkeit aus den Zellen der unteren Gelenkhälfte bei einer Reizbewegung filtrirt, zu gewinnen. Zudem kommt hier zu sehr in Betracht, dass, wie ich früher zeigte, die äusseren und inneren Parenchymschichten der unteren Wulsthälfte sich jedenfalls in geringerem Grade, wenn überhaupt, durch die in ihnen selbst entwickelte Kraft expandiren, als die mittleren Parenchymschichten. Diese haben nun zwar unter sich communicirende Intercellularräume, doch ist es schon der sehr ungleichen Grösse derselben halber nicht möglich zu sagen, welcher Antheil der Zelloberfläche die Begrenzung der Zwischenzellräume bildet. Eine, freilich auf ziemlich willkürliche Voraussetzungen gebaute Betrachtung wird uns aber auch hier zeigen, dass die aus einer Zelle austretende Flüssigkeitsmenge gering genug ist, um keine besonders permeable Membran zu fordern.

Bei früheren Berechnungen legten wir ein Gelenk zu Grunde, dessen unteres Polster im gerade gestreckten Zustand die Hälfte eines kreisförmigen Cylinders war, dessen Höhe 4 Millim., dessen halbe Achse 0,9 Millim. maass. Wenn wir nun den dem Parenchym zufallenden Rauminhalt berechnen wollen, so müssen wir in Anschlag bringen, dass der Gelenkhälfte das halbe Gefässbündel angehört, dessen Querschnitt wir hier als kreisförmig ansehen und seine halbe kleine Achse (0,2 Mill.) zur Berechnung des Cubikinhaltes dieses Cylinders benutzen wollen. Dann ergiebt sich für den vom Parenchym eingenommenen Raum des halben Cylinders ein Volumen von 4,838 Cub.-Millim.[1]. Erfährt nun die neutrale Achse des Gelenkes eine Krümmung zu 5 Millim. Radius und ändert sich der Querschnitt dabei nicht, so vermindert sich das Volumen der unteren Wulsthälfte um 0,388 Cub.-Millim.[2]. Der Durchmesser der den mittleren Cylindermänteln des Polsters angehörigen Parenchymzellen beträgt ungefähr 0,03 Millim., der Rauminhalt einer zugehörigen Kugel ist dann 0,0000141 Cub.-Millim. und deren Oberfläche 0,00283 Qu.-Millim. Wenn nun von dieser Oberfläche nur der vierte Theil frei ist, d. h. an Intercellularen stösst, und die Hälfte des für das Parenchym berechneten Rauminhaltes für nur passiv betheiligtes Gewebe und für Intercellularräume abgezogen wird, so würde innerhalb der Zeit der Reizbewegung durch eine Fläche von 1000 Qu.-Millim. eine Flüssigkeitsmenge von 3,2 Milligramm filtriren müssen; die Dauer der Senkung eines Blattstieles ist aber mit 2 Secunden gering ange-

1) $(0{,}9^2 - 0{,}2^2)\ 2\,.\,\pi$.

2) Siehe die Berechnung p. 24 Anmerkung.

schlagen. Wenn nun auch die so berechneten Werthe durchaus keinen Anspruch auf einige Genauigkeit machen können, so dienen sie wenigstens dazu, zu zeigen, dass auch bei Mimosa die Membranen keine besondere Durchlässigkeit für Flüssigkeit zu besitzen brauchen. Eine ansehnliche endosmotische Spannung ist aber bei unserer Pflanze in den Zellen des Gelenkwulstes vor der Reizbewegung sicher vorhanden, worauf ich schon früher hinwies, und zudem kommt hier auch der durch das Expansionsstreben der oberen Wulsthälfte ausgeübte Druck in Betracht. Wenn nun auch die äussersten Zelllagen, deren Intercellularräume nicht communiciren, wirklich etwas Flüssigkeit bei einer Reizbewegung abgeben, so kann diese doch sehr wohl durch die Membranen der anstossenden Zellen bis zu den nicht fernen, unter sich in Verbindung stehenden Intercellularräumen gelangen, ohne dass man genöthigt wäre eine besondere Permeabilität der fraglichen Zellmembranen zu fordern.

Ob die Intercellularräume, in welche die Flüssigkeit eintritt, mit Luft oder mit Wasser erfüllt sind, dürfte einen grossen Einfluss auf die Schnelligkeit der Filtration nicht ausüben, weil die Membranen immer mit Flüssigkeit imbibirt sind und gegen die offenbar dampfgesättigte Luft enthaltenden Zwischenzellräume mit einer dünnen Flüssigkeitshaut überzogen sein werden. Uebrigens tauchte bei den Versuchen W. Schmidt's die Seite der Membranfläche, auf welcher die filtrirende Flüssigkeit hervortrat, auch nicht in Wasser. Bei Mimosa sind aber die Intercellularen zwischen dem gerade am intensivsten sich expandirenden Parenchym, wie ich früher zeigte, immer mit Flüssigkeit erfüllt und die Verdrängung von Luft durch Wasser kann nur in den das immer luftführende Parenchym umgebenden Mantellagen vor sich gehen [1].

In dem reizbaren Theile der Filamente von Berberis sollen nach Unger [2] Intercellularräume durchaus fehlen. Wenn dieses richtig ist, so kann darin doch nicht ein Grund gegen einen Austritt von Flüssigkeit gesucht werden, da solche sehr wohl einige Zellwände innerhalb der Dauer einer Reizbewegung wird durchsetzen können. In wie weit anderen reizbaren Pflanzentheilen Intercellularen zukommen oder fehlen, mögen künftige Untersuchungen entscheiden, da ich hier nicht die zum Theil unbestimmten Angaben der Autoren reproduciren mag. Bei

---

1) Brücke, Müller's Archiv 1848 p. 444, ist geneigt, auf den Ersatz von Luft durch Flüssigkeit in den Intercellularen von Mimosa, grossen Werth für die Schnelligkeit der Filtration zu legen. Eine Luftverdrängung in der von Brücke angenommenen Ausdehnung findet aber nicht statt.

2) Anatomie 1855. p. 419.

Oxalis Acetosella, bei der die Zwischenzellräume des Parenchyms sehr klein sind und weiter nach Aussen hin fehlen, ist die Reizbewegung eine so langsame, dass hier der Wanderung der austretenden Flüssigkeit von Zelle zu Zelle durchaus kein Bedenken in den Weg gelegt werden kann. Die Anatomie der Gelenke von Oxalis sensitiva und anderen sehr reizbaren Arten dieses Genus ist mir unbekannt.

Es scheint die allgemein herrschende Ansicht zu sein, dass die Reizbarkeit ihren Sitz in den Zellwänden des empfindlichen Pflanzenorganes habe, wenigstens ist in neuerer Zeit keine andere als diese Ansicht ausgesprochen, als deren Autor wir Hofmeister anzusehen haben. Ein auf den ersten Blick bestechend scheinendes Argument, zugleich das einzige, auf das gestützt Nägeli und Schwendener[1]) den Sitz der Reizbarkeit in den Zellwänden annehmen, ist durch meine Auseinandersetzungen beseitigt. Ich meine hier die Annahme, dass die aus den Zellen bei der Reizbewegung austretende Flüssigkeit nicht mit genügender Schnelligkeit die Membranen zu durchsetzen vermöge. Ausser den zuletzt genannten Autoren ist aber eigentlich nur Hofmeister für die Reizbarkeit der Zellmembranen entschieden aufgetreten, und so haben wir denn auch allein auf die Erörterungen dieses Forschers einzugehen.

Hofmeister[2]) nimmt an, dass auf einen Reiz die Zellwände Flüssigkeit ausstossen und ihr Volumen vermindern. Ein directer Nachweis einer solchen Abgabe von Flüssigkeit aus der Zellwandung ist nicht geliefert, denn der Bemerkung, dass bei einem auf Reiz sich einkrümmenden Gelenkwulst von Mimosa die Dicke der Zellwände des unteren Polsters nicht gewonnen, ihr Volumen sich also nicht verändert habe[3]), kann kein Gewicht beigelegt werden. Wenn man sich nämlich klar macht, wie gering die Verdickung der Membran der Parenchymzellen dann ausfallen muss, wenn bei der Verkleinerung des Polsters das Volumen der Zellwand sich durchaus nicht ändert, so wird man einsehen, dass eine Feststellung einer solchen Verdickung an einer so zarten Membran durchaus unmöglich ist. Selbst an den Staubfäden von Centaurea Jacea, deren Seitenwand bei kräftiger Contraction des Filamentes eine relativ weit ansehnlichere Verkleinerung der Fläche erfährt, als die Wand einer in Folge der Reizung sich verkleinernden Zelle im Gelenke von Mimosa, ist eine ganz zweifellose Sicherstellung der Ver-

---

1) Mikroskop p. 377.
2) Pflanzenzelle p. 300.
3) Ebenda p. 304.

dickung der Membran ihrer geringen Dicke halber kaum zu erreichen, obgleich man hier im Stande ist dieselbe Zellhaut bei der Contraction zu beobachten, während Hofmeister sich bei Mimosa auf Vergleichung der Membranen aus verschiedenen Polstern stützt. Uebrigens ist auch zu bemerken, dass an Schnitten aus gereizten Polstern, wenn sie in Wasser getragen werden, die Zellen sehr schnell wieder in einen expandirten Zustand zurückkehren.

An der ein wenig dickeren Seitenwandung der Parenchymzellen von Cynara Scolymus lässt sich hingegen mit zweifelloser Sicherheit eine bei der Verkürzung eintretende Verdickung nachweisen, die sowohl stattfindet, wenn ein Staubfaden sich in Folge einer Reizung, als wenn eine möglichst frei gelegte Zelle sich durch Aufhebung des Turgors verkürzt. Letzteres ist leicht zu beobachten, wenn man Längsschnitte aus Filamenten in Wasser legt und verdünnte Zuckerlösung hinzutreten lässt. Wie ich schon früher bemerkte, können die Membranen in Folge der Tüpfelräume auf Längsschnitten rosenkranzförmig gegliedert erscheinen und die verdickten Stellen sind es, an welchen eine Zunahme des Durchmessers ungemein deutlich in die Augen springt, doch ist bei wiederholter Beobachtung eine Verdickung an den verdünnten Partien auch festzustellen, nur ist sie hier natürlicher Weise weniger auffallend. In gleicher Weise kann man aber auch an den Membranen der inneren Parenchymzellen unverletzter Filamente von Cynara mit aller Sicherheit eine bei der Reizcontraction stattfindende Verdickung der Membran nachweisen. Tritt auch die wenig durchsichtige Epidermis störend in den Weg, so gelingt es doch bei Nachsuchen etwas durchsichtigere Objecte zu finden, an denen nach partieller Injection mit Wasser innere Parenchymzellen bei stärkerer Vergrösserung beobachtet werden können.

Die Versuche an in Wasser liegenden Schnitten zeigen zugleich sehr anschaulich, wie Expansion der Membran auf mit Wasseraufnahme verbundenen, im Zellinneren entwickelten Kräften beruht. Lässt man verdünnte Zuckerlösung zu in Wasser liegenden Schnitten treten, so verkürzt sich auch eine möglichst freiliegende Zelle schnell und nicht eher erfolgt die Abhebung des Primordialschlauches, als bis die Contraction der Zellwand vollendet ist. War die Zuckerlösung so verdünnt, dass das Protoplasma nicht weiter verändert wurde, so erfolgte mit dem Auswaschen jener wieder schnell die Wiederverlängerung der Zelle. Durch Anwendung intensiv mit Cochenille gefärbter Zuckerlösung konnte ich auch nachweisen, dass die Zellmembran in der That für Flüssigkeiten genügend permeabel ist. Im günstigsten Falle verstrichen nämlich vom Augenblicke des Zutritts der Zuckerlösung bis zu Verkür-

zung der Zelle um etwa 30 Procent nur 3 Secunden. War nun auch bei diesen Experimenten dafür gesorgt, dass die Zuckerlösung möglichst schnell die ganze Zelle umspülte, so muss man doch bedenken, dass diese im Augenblicke des Zutrittes immer nur theilweise mit der Lösung in Berührung stand.

Die Imbibition der Zellwände mit Wasser vermag aber nachweislich bei den Filamenten von Cynara nur eine sehr geringe Verlängerung resp. Verkürzung hervorzubringen. Wählte ich nämlich durch einen Schnitt oder durch Einstechen mit einer Nadel geöffnete und frei hervorspringende Zellen zur Beobachtung, so liess sich bei genauer mikrometrischer Messung nur eine Verkürzung um 1 bis 2 Procent auf Zutritt von concentrirter Zuckerlösung feststellen. Ein gleiches Resultat lieferte die Beobachtung an medianen Längsschnitten an denen durch Jodlösung oder concentrirte Zuckerlösung der lebende Zustand des Protoplasmas zuvor vernichtet war.

Aus den eben und schon früher mitgetheilten Versuchen folgt mit aller Gewissheit, dass eine Ausstossung von imbibirter Flüssigkeit aus den Zellmembranen die Ursache der auf Reiz erfolgenden Bewegung, in dem Sinne, wie es Hofmeister will, ganz unmöglich sein kann. Denn die bei der Contraction der Filamente von Cynara nachweisbare Verdickung der Membranen spricht nur gegen eine Ausstossung von Flüssigkeit und wenn eine solche factisch stattfände, so kann der bedeutende Flüssigkeitsaustritt aus den Zellen doch nicht dadurch erklärt werden, da die Elasticität der Membranen sich auch im Momente des Reizes, wie ich zeigte, nicht ändert. Wenn ich Hofmeister recht verstehe, so geht dessen Ansicht dahin, dass die Membranen durch die Wasserabgabe sich zu verkleinern suchen und der vermehrte Druck auf den Zellinhalt den eventuellen Austritt von Flüssigkeit aus dem Innern der Zelle veranlasse [1]. So viel steht aber nach meinen Untersuchungen durchaus fest, dass Contraction und Expansion der Membran mit innerhalb der Zellen thätigen Kräften zusammenhängen und diese wird man zunächst geneigt sein als rein endosmotische aufzufassen, weil wir Verlängerung und Verkürzung mit Aufnahme und Abgabe von Flüssigkeit aus dem Zelllumen Hand in Hand gehen sehen. Wenn nun bei Expansion und Contraction der Zelle die gedehnte Membran noch anderweitig, als vermöge ihrer elastischen Kraft betheiligt ist, so gibt es nur eine Möglichkeit, die nämlich, dass die Membran in Folge des Reizes

---

1) Pflanzenzelle p. 300 und 304.

plötzlich permeabler für Flüssigkeit wird, wodurch diese dann unter dem auf dem Zellinhalte lastenden Drucke hervorgepresst werden könnte. Indess ist eine Veränderung der Durchlässigkeit der Membran durchaus keine Nothwendigkeit, denn auch im Protoplasma, z. B. in der auf Reiz veränderten Permeabilität des Primordialschlauches könnte die Ursache der Auspressung von Flüssigkeit aus den Zellen begründet sein. Es wäre auch denkbar, dass der lebende Protoplasmakörper durch eine ihm innewohnende gestaltende Kraft, die eine verlängerte Gestalt jenes anstrebte, die Dehnung der Membran bewirkte, wobei natürlich nicht ausgeschlossen ist, dass gleichzeitig endosmotische Kräfte mit im Spiel sind. Würde dann ein Reiz die gestaltende Kraft des Protoplasmas aufheben, das Hinstreben dieses zur Kugelform hervorrufen, dann würde auf die Zellflüssigkeit vermöge der unveränderten elastischen Kraft der Membranen ein vermehrter Druck ausgeübt, der einen Theil jener Flüssigkeit durch Protoplasma und Zellwand pressen könnte.

Jedenfalls lässt sich mit Sicherheit sagen, dass nur in dem Protoplasma oder nur in der Zellhaut, oder in beiden gleichzeitig in Folge des Reizes Veränderungen vor sich gehen müssen und in der Zellflüssigkeit selbst nicht die Ursache des Austrittes von Wasser aus den Zellen liegen kann. Denn würde durch Volumenzunahme der Zellflüssigkeit, welche durch geeignete Zerfällung chemischer Verbindungen immerhin denkbar wäre, ein vermehrter hydrostatischer Druck entwickelt, so könnte freilich Flüssigkeit hervorgepresst werden, allein die Zelle würde sich nicht verkürzen können, da ja die Länge, welche sie besass, einem Gleichgewichtszustand zwischen Wasseraufnahme und Wasserabgabe entsprach und die Permeabilität von Protoplasma und Zellmembran der Voraussetzung nach nicht verändert wurde. Eine Contraction der Zellen könnte nur dann erfolgen, wenn nach der Austreibung von Flüssigkeit der Körper, welcher durch seine mit Volumenzunahme verbundene Zerfällung jene bewirkte, sich sogleich wieder aus seinen Zerlegungsproducten reconstituirte und auf diese Weise nunmehr eine Raumverminderung herbeiführte. Aber abgesehen davon, dass ein solcher Vorgang an und für sich im höchsten Grade unwahrscheinlich scheint, ist das austretende Flüssigkeitsquantum ein relativ so ansehnliches, dass eine entsprechende Volumenvermehrung durch chemische Zerfällung für die Zellen der Staubfäden von Cynareen ganz undenkbar erscheinen muss und zudem kann man an den quer durchschnittenen Gelenken wenig reizbarer Mimosa pudica mit Sicherheit feststellen, dass der Flüssigkeitsaustritt allmälig, während der Reizbewegung, geschieht.

Was nun die vorhin angedeutete Möglichkeit anbelangt, dass das Protoplasma vermöge einer eigenen gestaltenden Kraft die Zellhäute dehnen könnte, so ist allerdings nicht zu läugnen, dass bestimmte eigenmächtige Gestaltungsvorgänge für Protoplasmakörper, wie z. B. für die Spongillen und die Plasmodien der Myxomyceten bekannt sind, allein die Verlängerung der Staubfäden der Cynareen kann nicht wohl auf einer solchen activen Formänderung des Protoplasmas allein beruhen. Man bedenke nur, dass dann in einem expandirten Filamente von Cynara der Protoplasmakörper einer jeden Parenchymzelle, wie aus meinen früheren Auseinandersetzungen folgt, dem Drucke einer Wassersäule von mindestens 10 Meter das Gegengewicht zu halten hätte, ein Druck, der bei dem geringen Durchmesser der Zellen allerdings nur einem Gewicht von etwa 3 Milligramm entspricht[1]). Es lässt sich aber auch ein directer Beweis beibringen, dass der hydrostatische Druck im Innern der Zelle bei der Expansion wächst. Beobachtet man Schnitte aus Staubfäden von Cynara während des Zutrittes von Wasser, so sieht man, dass die Seitenwand möglichst frei liegender Zellen während der Verlängerung der Zelle sich allmälig, wenn auch nur äusserst wenig, bauchig nach Aussen hervorwölbt. Dieses könnte aber nicht geschehen, wenn der Protoplasmakörper allein durch eine gestaltende Kraft, die natürlich vorzüglich in der Längsrichtung der Zelle wirken müsste, die Dehnung der Membran veranlasste. Denn dann hätte man sich ja die Wirkung eines Reizes so zu denken, dass das besondere Gestaltungsvermögen des Protoplasmas plötzlich erlösche und nun der auf die Zellflüssigkeit wirkende vermehrte Druck einen Theil von dieser hervorpresse. In jedem Falle würde dann aber bei der Contraction der Zelle der hydrostatische Druck auf die Seitenwand nur eine Vermehrung, nie eine Verminderung erfahren können, während wir umgekehrt jenen Druck bei der Verlängerung der Zelle zunehmen sehen. Um hier nicht weitläufigere Auseinandersetzungen machen zu müssen, unterlasse ich es darzulegen, dass die Ausbauchung der Seitenwand nicht ihren Grund darin haben kann, dass der hydrostatische Druck zwar derselbe bleibt, aber nun auf eine längere Fläche, der dabei aber in höherem Maasse gespannten Seitenwand wirke. Auch spricht die freilich nicht ganz sichere Beobachtung, nach welcher die sich contrahirenden Zellen eines gereizten Filamentes von Centaurea sich ein klein wenig zu ver-

1) Die Querschnittsfläche des Filamentes ist im Mittel 0,066 Qu.-Millim., die einer Parenchymzelle 0,000314 Qu.-Millim. Werden die Intercellularräume vernachlässigt, so lastet bei einem Drucke von 10 Meter Wasserhöhe auf jeder Fläche von der Grösse eines Zellenquerschnittes ein Druck von 3,42 Milligramm.

dünnen scheinen für eine mit der Verkürzung verbundene Verminderung des hydrostatischen Druckes im Innern der Zellen.

Jedenfalls dürfen wir nach den vorausgegangenen Auseinandersetzungen von endosmotischen Kräften sprechen, die vermöge der Wasseraufnahme bei der Expansion contrahirter Zellen eine Rolle spielen, gleichviel ob Protoplasma oder Zellflüssigkeit dabei wirksam sind. Können wir nun auch die Mitwirkung einer angestrebten einfachen Gestaltsänderung des Protoplasmas nicht durchaus negiren, so ist doch eine solche für die Staubfäden der Cynareen bei geringerer Dehnbarkeit der Seitenwand der Parenchymzellen in tangentialer Richtung nicht nothwendig und für die kugeligen Zellen der Gelenke von Mimosa muss die Zunahme eines allseitig gleichmässig wirkenden hydrostatischen Druckes als Ursache der Expansion nur noch wahrscheinlicher scheinen. Es mag deshalb auch eine in bestimmter bevorzugter Richtung thätige eigenmächtige Gestaltsänderung des Protoplasmas auf sich beruhen.

Wir stehen nunmehr vor der Alternative, dass entweder im Protoplasma oder in der Zellhaut Veränderungen vor sich gehen müssen, welche eine Auspressung von Flüssigkeit aus dem Zellinhalt gestatten, während der auf diesem lastende ansehnliche Druck sich nicht ändert. Ehe ich an die Erwägung dieser zwei Möglichkeiten gehe, ist es durchaus nothwendig, darzuthun, dass die allgemein geläufige Ansicht, der Widerstand, welcher dem Austritt von Flüssigkeit aus Zellen entgegensteht, müsse nothwendig in der Zellwand seinen Sitz haben, keineswegs eine erwiesene Thatsache ist.

Bekanntlich ist in allen lebenden vegetativen Zellen der Primordialschlauch der Zellwand immer vollkommen angepresst, alle Unebenheiten derselben auskleidend. Es muss also aus dem Zelllumen austretende Flüssigkeit nothwendig den Primordialschlauch passiren und sofern dieser für Flüssigkeiten schwieriger permeabel ist, als die Zellmembran, wird nicht durch diese, sondern den Plasmaschlauch der Filtrationswiderstand bestimmt. Hierbei kommt es zunächst auf Elasticität oder Dehnbarkeit des Primordialschlauches gar nicht an, weil dieser ja der widerstandsfähigen Zellmembran durchaus angepresst ist[1]).

Die Entstehung der dichteren membranartigen Schicht des Protoplasmas, des Primordialschlauches, wird man sich höchst wahrscheinlich, so wie die Bildung von Traube's Niederschlagsmembranen zu

1) Man denke daran, wie eine Lehmschicht über Leinwand oder Filtrirpapier ausgebreitet die Filtration von Wasser beeinflusst.

denken haben und hiernach auch entscheiden müssen, ob das was man als Dehnbarkeit des Primordialschlauches auffasste nicht vielmehr ein Wachsthum ist[1]. Doch sehen wir hier von dieser und ähnlichen Fragen ab und halten uns an das Factum, dass der Plasmaschlauch lebender Zellen ein eigenthümliches diosmotisches Verhalten zeigt, so für Farbstoffe und Zucker impereabel ist, welche beide die Zellwand zu durchdringen vermögen[2]. Nach der mit allen Thatsachen in Einklang stehenden Brücke'schen Theorie der Endosmose nimmt das endosmotische Aequivalent mit der Verkleinerung der Molecularinterstitien zu[3] und consequenterweise darf eine Substanz überhaupt nicht mehr durch eine Membran diosmiren, wenn unter den gegebenen wechselseitigen Anziehungen die Molecüle dicht genug gelagert sind, damit die sie umgebenden Hüllen aus reinem Wasser unmittelbar aneinander stossen und keinen Raum zwischen sich lassen, in welchem Salzlösung bestehen kann. In der That hat Traube[4]) gezeigt, dass manche Körper, welche sich gegen die zu endosmotischen Versuchen gewöhnlich angewandten Membranen wie Krystalloidsubstanzen verhalten, durch Niederschlagsmembranen nicht zu dringen vermögen. Da auch der Primordialschlauch ein solches Ver-

---

1) Bei der Vergrösserung, welche in Wasser gelangte Vacuolen erfahren, nimmt die dem Primordialschlauch lebender Zellen gleichende äussere dichte Masse des Protoplasmas entschieden an Volumen zu, da selbst bei sehr ansehnlicher Flächenvergrösserung eine Verdünnung nicht zu bemerken ist, auch scheint die Dichte (der Wassergehalt) des Plasmaschlauches sich nicht zu ändern. Das ganze Verhalten findet augenscheinlich seine völlige Analogie in der Bildung der Niederschlagsmembranen, die Traube in einer lehrreichen Arbeit bekannt machte (Archiv f. Anat. und Physiologie 1867 p. 87 ff.). Unser Autor hat auch gezeigt, wie zwischen einem colloidalen Körper und Wasser eine Niederschlagsmembran entstehen kann (l. c. p. 130). Concentrirte Lösung von Gerbsäure nimmt nämlich Leim auf und in Folge dessen schlägt sich, wenn ein Tropfen einer solchen Lösung in Wasser kommt, ein Membran von gerbsaurem Leim an der Berührungsfläche nieder, weil dieser in Wasser und ebenso in verdünnter Gerbsäurelösung unlöslich ist. Etwas ähnliches kann wohl auch im Protoplasma der Fall sein, denn es ist in der That bekannt, dass manche Eiweisskörper aus den mit gewissen Vehikeln hergestellten Lösungen bei Verdünnung sich ausscheiden. In solchem Sinne dürfte also die Coagulation aufzufassen sein; durch welche Nägeli (Pflanzenphysiol. Unters. 1855, Heft I p. 10) den Plasmaschlauch entstehen lässt.

2) Nägeli, Pflanzenphysiol. Untersuchungen 1855, Heft I p. 5. — Hofmeister, Pflanzenzelle p. 4. — De Vries in Archiv Néerlandaises etc. 1871, Bd. VI und Flora 1873 p. 25.

3) Fick, medicin. Physik 1858 p. 46. — Nägeli und Schwendener, Mikroskop 1867 p. 432.

4) Archiv f. Physiologie von Reichert und du Bois-Reymond 1867 p. 133. Dessen Ansichten über Endosmose (p. 148) dürften übrigens theilweise nicht zu halten sein.

halten gegen Zucker und Farbstoffe zeigt, so dürfen wir wohl auf geringe Grösse der Molecularinterstitien schliessen, in denen vermöge der überwiegenden Anziehung zwischen Wasser und den Molecülen des Schlauches eine Lösung der genannten Körper nicht bestehen kann[1]. So wird denn auch das sonst unerklärlich erscheinende Verhalten des Plasmaschlauches verständlich, daran aber, dass dieses mit dem Tode sich ändert, ist natürlich kein Anstoss zu nehmen, da ja Eiweissstoffe überhaupt, wie z. B. bei der Coagulation, leicht Veränderungen unterworfen sind. Es handelt sich ja hier auch nur darum, einen fertig gegebenen Zustand eines lebenden Organismus zu verstehen und das muss immer als möglich erscheinen, wenn wir auch den über den gestaltenden Kräften des Lebens ruhenden Schleier vielleicht niemals zu lüften vermögen[2].

Es ist nun bekannt, dass die Widerstände, welche Wassersäulen in capillaren Röhren einem Drucke entgegensetzen mit der Verkleinerung des Durchmessers zunehmen, wenn auch über ein bestimmtes Verhältniss bei so engen Capillaren, wie es die Molecularinterstitien organisirter Substanzen sind, nichts ermittelt ist[3]. Auf Grund des diosmotischen Verhaltens von Zellwand und Primordialschlauch scheint nun der Schluss erlaubt, dass die Molecularinterstitien des letzteren kleiner sind, folglich auch der Filtrationswiderstand des Plasmaschlauches grösser als der der nicht cuticularisirten Zellwände sein dürfte. Dass hiergegen die Dehnbarkeit des Primordialschlauches und ebenso wenig dessen Zusammenfallen bei vorwiegender Exosmose keinen Einwand bilden können, geht aus dem vorhin Gesagten hervor. Haben nun diese theoretischen Ableitungen auch eine grosse Wahrscheinlichkeit für sich[4], so bin ich doch zur Zeit nicht im Stande den unbedingten

1) Nach Nägeli (Stärkekörner 1858 p. 333) vermehrt sich der Wassergehalt organisirter Substanz mit der Volumenabnahme der Molecüle, doch sinkt natürlich die absolute Grösse der Interstitien. — Ueber die Dichte der äussersten Schicht des Plasmaschlauches ist gar nichts zu sagen, doch darf man nicht vergessen, dass eine Niederschlagsmembran sehr dünn sein, theoretisch sogar aus nur einer Molecularschicht bestehen kann. Würde aber nicht schon der Primordialschlauch das Eindringen der Farbstoffe verhindern, dann müssten diese doch jedenfalls in den Plasmaschlauch selbst ihren Weg finden, was nicht der Fall ist.

2) Wenn z. B. bei Bildung von Sporen, der sich contrahirende Protoplasmakörper den Zellraum nicht mehr ganz ausfüllt, so kann das in Veränderungen des Protoplasmakörpers (oder des Primordialschlauches) selbst seinen Grund haben, oder auch in einer Verminderung der endosmotisch wirksamen Stoffe, z. B. in einer Umwandlung von Glycose in Oel.

3) Vgl. Nägeli und Schwendener, Mikroskop p. 368.

4) Auf Grund der bei verschiedenen Stoffen ungleichen Anziehung zwischen Substanz und Flüssigkeiten könnten einige Einwände erhoben werden.

Nachweis zu liefern, dass der Primordialschlauch einen höheren Filtrationswiderstand besitzt als die Membranen von Binnengeweben, welchen derselbe angepresst ist, doch liegt auch irgend ein Grund dagegen nicht vor.

Wenn in Wasser liegende Protoplasmatropfen sich vergrössern, so wird der endosmotische Druck im Innern wohl immer nur gering sein, weil sich der Primordialschlauch unter Einschiebung neuer Molecüle leicht auszudehnen vermag. Indess scheint es auch vorzukommen, dass der Primordialschlauch einem grösseren hydrostatischen Drucke das Gleichgewicht zu halten vermag. So bei Actinophrys Eichhornii (Amoebe), wo nach Zenker[1]) bei der Systole die Blase einreisst und die nach Aussen flatternden Ränder des Risses sowie das ansehnliche Zusammenfallen der Blase auf einen erheblicheren hydrostatischen Druck schliessen lassen. Wie gross der von Innen her wirkende Druck ist, welchem der Plasmaschlauch von Schwärmsporen und anderen in Wasser lebenden Primordialzellen das Gleichgewicht hält, darüber lässt sich nichts sagen[2]).

Kehren wir nun zu den auf Reiz sich contrahirenden Zellen in den Staubfäden der Cynareen zurück. Es blieben für die in Folge des Reizes vor sich gehenden Veränderungen nach früheren Auseinandersetzungen nur noch zwei Möglichkeiten übrig; entweder müssen im Protoplasma Aenderungen eintreten, welche eine Hervorpressung von Flüssigkeit unter dem gegebenen Druck ermöglichen oder die Zellmembran muss für Flüssigkeit permeabler werden. Von diesen Alternativen würde die letztere sofort widerlegt sein, wenn es ganz sicher wäre, dass in unseren Zellen der Filtrationswiderstand des Primordialschlauches grösser, als der der Zellmembran ist. Denn selbstverständlich könnte dann eine Steigerung der Permeabilität der Zellwand keinen Flüssigkeitsaustritt hervorrufen, eine Vermehrung des durch die elastische Kraft der Membran auf den Inhalt ausgeübten Druckes findet aber, wie meine Versuche sicher zeigen, nicht statt. Da aber der höhere Filtrationswiderstand des Plasmaschlauches zwar höchst wahrscheinlich, jedoch nicht durchaus sicher gestellt ist, so muss die Frage, ob das Protoplasma oder die Membran der reizbare Theil ist, anderweitiger Erwägung unterzogen werden.

---

1) M. Schultze's Archiv f. mikroskop. Anatomie 1866, Bd. II p. 332 ff. — Rossbach, die rhytmischen Bewegungserscheinungen der einfachsten Organismen 1872 p. 5 (Separatabdruck aus Verh. d. Würzburger physik. medic. Gesellschaft).

2) Hier scheinen allerdings noch besondere Eigenthümlichkeiten im Spiel zu sein, da sich diese zum Leben in Wasser bestimmten Primordialzellen nach Hofmeister (Pflanzenzelle p. 6) nach Quetschungen und anderen äusseren Eingriffen weiter vergrössern.

Eine Aenderung des Imbibitionsvermögens der Membranen gereizter Filamente kann, wie ich auch schon schlagend zeigte, die Ursache der Contraction und des damit verbundenen Austrittes von Flüssigkeit aus den Zellen nicht sein und es ist überhaupt als sicher anzunehmen, dass sich die Menge des in der Membran enthaltenen Imbibitionswassers bei der Reizbewegung nicht ändert. Hierfür spricht die bei den sich verkürzenden Zellen der Filamente von Cynara nachgewiesene gleichzeitige Verdickung der Membran, sowie das Verhalten der Zellwände gegen Zuckerlösung[1]. Namentlich ist aber auch die unveränderte Elasticität der Membranen hervorzuheben, denn eine Aenderung in der Molecularstructur oder der Anziehungskraft der Zellhautmolecüle auf die sie umgebenden Wasserhüllen würde wohl auch auf die elastische Kraft der Membran influirt haben, deren Invariabilität überhaupt gegen eine Veränderung in der Zellwand spricht. Waren nun auch Nägeli und Schwendener[2] nicht im Stande an den untersuchten Membranen bei Streckung, Biegung und ähnlichen Eingriffen ein verändertes Verhalten gegen polarisirtes Licht nachzuweisen, so zeigen doch Versuche Hofmeister's, dass wenigstens Störungen in den molecularen Kräften der Zellmembran auf nicht zu unbedeutende Biegungen und Quetschungen möglich sind, indem auf solche Eingriffe die Wandung geöffneter Zellen von Nitella und Algen ihre Steifheit verlor, welche sich indess nach einiger Zeit wieder herstellte[3]. Die Eingriffe, auf welche solche Veränderung der Membran erfolgt, influiren indess nach Hofmeister[4] auch auf das lebende Protoplasma, indem sie Volumenverminderung und Verringerung der Fähigkeit zur Wasseraufnahme hervorrufen. Deshalb kann aber auch jenes Experiment mit Zellwänden nicht dazu dienen, die Reizbarkeit der Membran wahrscheinlicher, als die des Protoplasmas zu machen. Im Gegentheil ist dieses vielfach, so weit sich übersehen lässt, entschieden für geringe Anstösse empfindlich, welche auf die Zellmembran vielleicht nie influiren, wenigstens in keinem bekannten Fall. Für die Zellen von Nitella weist Hofmeister[5] selbst die grössere Empfindlichkeit des Protoplasmakörpers nach, indem sich dieser auf leichtes Drücken rasch von der Membran zurückziehe, während dieselbe keine sichtbare Aenderung erfahre.

1) Die Querwände der cylindrischen Zellen kommen für uns nicht in Betracht und bezieht sich das hier Gesagte zunächst nur auf die Seitenwand.

2) Mikroskop p. 355 und 405.

3) Flora 1862 p. 513. Pflanzenzelle p. 303.

4) Pflanzenzelle p. 301.

5) Pflanzenzelle p. 9.

Es mag hier beiläufig noch an die auf Erschütterung erfolgende Gestaltsänderung der Plasmodien von Myxomyceten [1]) hingewiesen werden und ferner auf die contractilen Vacuolen gewisser Organismen des Thier- und Pflanzenreiches, welche rapide spontane Aenderung im lebenden Protoplasma vorführen [2]).

An dem Protoplasma der Zellen in den Gelenken von Mimosa pudica und in den Filamenten der Cynareen ist nun freilich keine sichtbare, auf eine Reizung erfolgende Veränderung nachgewiesen. Es wäre ja denkbar, dass eine Contraction des Protoplasmakörpers einträte und deshalb hielt ich Staubfäden von Centaurea Jacea derart fest, dass sie sich bei der Reizung nicht verkürzen konnten und beobachtete, während eine solche applicirt wurde, den Zellinhalt. Eine Contraction konnte ich zwar nicht bemerken, doch möchte ich auf diese Versuche kein Gewicht gelegt wissen, weil ich dieselben in später Jahreszeit begann, und der eintretende Mangel an Material mir weder erlaubte dieses ziemlich difficile Experiment oft genug zu wiederholen, noch die Technik desselben genügend auszubilden.

Indess ist ja eine active Contraction des Protoplasmas keineswegs nothwendig, da ein verminderter Filtrationswiderstand des Primordialschlauches, sei es nun mit oder ohne weiter greifende Aenderungen im Protoplasma, völlig ausreichen würde, die Contraction der Zelle herbeizuführen. Beiläufig sei hier bemerkt, dass ich auch nicht sicher sagen kann, ob die aus den Zellen der Staubfäden der Cynareen austretende Flüssigkeit dem Protoplasma oder der Zellflüssigkeit entstammt, wenn es mir auch aus einigen Gründen sehr wahrscheinlich ist, dass letztere zu der austretenden Flüssigkeit beiträgt.

Liegt nun auch kein Argument vor, welches mit unwiderleglicher Gewissheit zeigte, dass das Protoplasma der reizbare Theil ist, so

---

1) Pflanzenzelle p. 25.

2) Es ist auch noch keineswegs erwiesen, dass die periodischen Blattbewegungen auf ungleichem Imbibitionsvermögen der Zellhaut beruhen, wie Hofmeister will. Es scheint mir nach noch ganz unvollkommenen Untersuchungen vielmehr, dass auch hier der wechselnde Turgor Bewegungsursache ist. (Vgl. Sachs Lehrbuch III. Aufl. p. 717.) Selbst die Bewegungen der Oscillarien (Hofmeister, Pflanzenzelle p. 320) kann sehr wohl im Protoplasma liegen, wenn z. B. in diesem entsprechende Gestaltsänderungen angestrebt würden und die Zellmembran nur genügend dehnbar wäre. Cohn (Beiträge zur Biologie 1872, Heft 2 p. 137) schreibt in der That die Bewegung der Oscillarien einer Flexilität des Protoplasmas zu, doch finde ich einen eigentlichen Beweis in den citirten Abhandlungen (Archiv f. mikrosk. Anatomie 1867 u. Zeitschrift f. wiss. Zoologie 1866) dieses Autors nicht. Ueber Bewegung der Oscillarien vergl. auch Nägeli, Beiträge zur wiss. Botanik 1860, Heft II p. 88.

spricht doch auch gar nichts hiergegen, während die invariable Elasticität der Zellmembran gegen eine Aenderung der Molecularstructur oder der molecularen Kräfte der Membran anzuführen ist und auch das Imbibitionsvermögen der Zellwand sich höchst wahrscheinlich bei einer Contraction des Filamentes gar nicht ändert. Bedenkt man nun, dass, soweit Erfahrungen reichen, das Protoplasma entschieden ungleich leichter, als die Zellmembran durch Eingriffe beeinflusst wird, so muss es jedenfalls viel wahrscheinlicher erscheinen, dass der Protoplasmakörper und nicht die Membran für Reiz empfänglich ist. Man ist ja ohnehin durch das, was über Zellenleben bekannt ist, genöthigt, den Protoplasmakörper als den eigentlich lebenden Organismus, die Zellwand gleichsam nur als das Haus dieses anzusehen. Wie aber eine Aenderung im Protoplasma im Stande sein würde, eine Contraction der Zellen herbeizuführen, das zeigt das von Hofmeister angeführte Experiment, mit den Zellen von Nitella[1]), in welchem der Primordialschlauch von der Zellwand auf relativ leichte Anstösse von der Wand zurückwich. Würde hier die Membran gedehnt und elastisch sein, dann wäre eine Contraction unvermeidlich, wenn die Zellwand nur für Wasser permeabel wäre, wie es ja bei den Membranen der Cynareen der Fall ist. Ich habe ferner schon gezeigt, dass dem Primordialschlauch sehr wahrscheinlich ein höherer Filtrationswiderstand als der Zellwand zukommt, und dass, wenn diese Wahrscheinlichkeit zur Gewissheit erhoben werden kann, die Reizbarkeit des Protoplasmas in den Zellen der Filamente der Cynareen unwiderleglich erwiesen ist. Hoffentlich werde ich in nächster Zeit die den Filtrationswiderstand betreffenden Fragen einer eingehenden Untersuchung unterwerfen können.

Wie es aber durchaus sicher ist, dass die Reizung Veränderungen herbeiführt, welche einen Austritt von Flüssigkeit aus dem Zelllumen ohne Vermehrung des auf dem Inhalt lastenden Druckes ermöglichen, so steht es auch zweifellos fest, dass die mit dem Ausgleich dieser Veränderungen erfolgende Wiederverlängerung ausschliesslich durch im Zellinhalt entwickelte Kräfte geschieht, welche sicher theilweise, wahrscheinlich sogar ganz auf endosmotischer Wasseraufnahme beruhen. In wie weit im Protoplasma oder in der Zellflüssigkeit die endosmotisch wirksamen Stoffe zu suchen sind, lässt sich nicht entscheiden. Wenn man jedoch bedenkt, dass der Inhalt der Parenchymzellen in den Staubfäden der Cynareen und namentlich in den Gelenken von

---

1) Aehnliche Beobachtungen an Algenfäden sind von Nägeli mitgetheilt. Pflanzenphysiol. Unters. Heft I, 1855 p. 13.

Mimosa sehr ansehnliche Mengen von Glycose enthält und triftige Gründe zu der Annahme vorliegen, dass diese hauptsächlich in der Zellflüssigkeit gelöst ist, so wird man dieser eine Betheiligung bei der endosmotischen Aufnahme von Wasser wohl bestimmt zuerkennen dürfen, ja es muss wahrscheinlich erscheinen, dass die Glycose der wesentlich wirksame Stoff ist.

Es ist aber wohl zu beachten, dass die wasseranziehenden Stoffe nur im Vereine mit dem lebenden Protoplasmakörper die zur Dehnung der elastischen Membran nöthige endosmotische Kraft entwickeln können. Anschaulich zeigen dieses Schnitte aus den Staubfäden der Cynareen auf Einwirkung sehr verdünnter Jodlösung. Die möglichst isolirt liegenden Zellen, zu welchen die Lösung schnellen Zutritt findet, contrahiren sich sofort mit grosser Schnelligkeit und Messungen zeigen, dass die Verkürzung sogleich vollkommen ist, auch wenn man die Lösung von solcher Verdünnung wählt, dass sie unmöglich eine wesentliche exosmotische Wasserströmung hervorrufen kann und dieselbe noch dazu gleich nach der Einwirkung wieder auswäscht. Sind nun auch die in Wasser liegenden Zellen nicht reizbar, so ist doch die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass die Jodlösung Veränderungen hervorrief, welche den Filtrationswiderstand der Membran änderten, so gut wie ja dieses mit der Tödtung des Protoplasmas bezüglich des Primordialschlauches geschah, welcher erfahrungsgemäss nun für Glycose permeabel ist. Das sehen wir aber, dass die wasseranziehende Kraft der Glycose nach der Tödtung des Protoplasmas nicht im Stande ist einem merklichen Druck der gedehnten elastischen Membran das Gleichgewicht zu halten, denn die Contraction der Zelle ging nicht allmälig vor sich, sie war vielmehr sogleich vollendet, während bei einer Reizung der Turgor nur theilweise aufgehoben wird.

Die Glycoselösung vermag aber nicht nur an den mit Jodlösung behandelten, sondern auch an lebenden Zellen die Membran offenbar ziemlich leicht zu durchdringen. Es folgt dieses daraus, dass verdünnte Lösungen von Zucker (Trauben- und Rohrzucker) nicht nur eine vollkommene Verkürzung der Zellen, sondern auch eine weitere Zusammenziehung des Protoplasmas hervorrufen, ohne dass dieses bei vorsichtiger Behandlung getödtet wird, wie die nach Auswaschen des Zuckers erfolgende Wiederverlängerung der Zellen zeigt. War die Zuckerlösung mit Cochenilleauszug gefärbt, so kann man feststellen, dass dieser Farbstoff wohl die Zellwand, nicht aber den Primordialschlauch der nicht getödteten Zelle zu durchdringen vermag. Da die Zellen an in Wasser liegenden Schnitten nicht reizbar sind, so werden

verdünnte Zuckerlösungen die diosmotischen Eigenschaften der Zellmembran unverändert lassen, wie dieses ja auch für den Primordialschlauch der Fall ist. Aus dem mitgetheilten Verhalten ersieht man aber, dass Zucker und Farbstoffe auch dann die Zellwand zu durchdringen vermögen, wenn der Molecularzustand derselben den im Innern thätigen Kräften erlaubt, die Verlängerung der Zelle herbeizuführen. Diese Erfahrung liefert schon für sich den Beweis, dass, wie es auch der Versuch mit Jodlösung zeigte, die Glycose, wenn sie sich nicht innerhalb des lebenden Protoplasmakörpers befände, keine endosmotische Kraft entwickeln könnte, welche im Stande wäre eine Dehnung der elastischen Membran zu bewirken, denn es würde sich bald ausserhalb und innerhalb der Zelle eine Lösung gleicher Concentration gebildet haben. Es ist nun freilich nicht gesagt, dass die Glycose die endosmotische Wasseraufnahme allein bedingt, dass sie aber bei ihrer ansehnlichen Menge eine erhebliche, wenn nicht die wesentlichste Rolle spielt, das kann gewiss nicht bezweifelt werden und unsere Betrachtungen gelten jedenfalls für denjenigen Theil der Dehnung der Zellwand, welche durch die wasseranziehende Kraft der Glycose bewirkt wird, gleichviel ob noch andere Stoffe endosmotisch wirksam sind oder der Protoplasmakörper vermöge eines eigenen Gestaltungsstrebens bei der Expansion mitwirkt. Nimmt man nun an, dass die Zellwand auf Reiz für Wasser permeabler werde, so würde jene durch ihren Filtrationswiderstand die Menge der Flüssigkeit bestimmen, welche aufgenommen ist, wenn Einnahme und Ausgabe von Wasser sich das Gleichgewicht halten, während das Protoplasma, oder wohl richtiger der Primordialschlauch, der Glycose den Austritt verwehren müsste, wenn dieselbe Wasser mit solcher Kraft anziehen soll, dass eine Dehnung der elastischen Membran zu Stande kommt. Ein solches Verhalten ist aber jedenfalls sehr unwahrscheinlich, das ganze Ungereimte verschwindet aber, wenn der Primordialschlauch durch seinen Filtrationswiderstand das Maass der durch endosmotische Kraft vermittelten Expansion der Zellwand bestimmt, wie dieses auch nach früheren Erörterungen wahrscheinlich erscheint. Ob die aus den Zellen austretende Flüssigkeit reines Wasser ist, oder Stoffe gelöst enthält, vermag ich nicht zu sagen. Einen Austritt von Glycose und überhaupt endosmotisch wirksamer Stoffe können wir aber nicht annehmen, weil bei wiederholter Reizung die Staubfäden der Cynareen zu der früheren Länge zurückkehren und der Blattstiel von Mimosa sich zu gleicher Höhe erhebt.

Nach den von mir beigebrachten Thatsachen und Erörterungen ist es jedenfalls im höchsten Grade wahrscheinlich, dass der lebende Pro-

toplasmakörper der reizbare Theil ist[1]). Nichts spricht hiergegen, während gegen die Reizbarkeit der Zellmembran verschiedene Gründe angeführt wurden. Eine Reizbarkeit der Zellmembran, in dem Sinne, wie sie Hofmeister den Bewegungserscheinungen zu Grunde legt, habe ich ohnedies widerlegt und bei Abwägung der Thatsachen vom neutralen Standpuncte aus, wird wohl Niemand daran zweifeln, dass nicht die Membran, sondern das Protoplasma reizbar ist. Die Wiederverlängerung der in Folge von Flüssigkeitsaustritt verkürzten Zellen wird jedenfalls zum guten Theil, wahrscheinlich sogar allein durch endosmotische Kräfte zu Stande gebracht, doch lässt sich die Möglichkeit nicht ableugnen, dass der Protoplasmakörper vermöge einer ihm innewohnenden gestaltenden Kraft bei der Dehnung der Membranen mitwirke.

Bereits Unger[2]) suchte die Reizbarkeit im Protoplasma. Da sich dieser Autor aber entschieden gegen eine Wasserabgabe bei der Verkürzung und überhaupt gegen die Mitwirkung endosmotischer Kräfte erklärte, so hätte nach ihm die Dehnung der elastischen Membranen durch eine dem Protoplasma innewohnende gestaltende Kraft zu Stande zu kommen, die in Folge einer Reizung erlöschen oder sich verändern müsste, um die nach Unger allein auf Formänderung der Zellen beruhende Verkürzung zu bewirken. Wie Cohn[3]) sich die, übrigens ohne eigentliche Argumente angenommene Reizbarkeit des Protoplasmas denkt, ist aus seiner Darstellung nicht zu entnehmen, übrigens ist diese Ansicht mit der später von unserm Autor vertretenen Auffassung[4]) der Contraction der Filamente der Cynareen nicht wohl zu vereinigen.

Früher mitgetheilte Versuche zeigten, dass die Blattstiele von Mimosa sich auch dann erheben, wenn der reizbare Zustand durch andauernde Erschütterung oder durch Chloroform sistirt ist. Da sich nun unter diesen Verhältnissen auch die auf Reiz verkürzten Filamente von Cynara wieder verlängern, so erfahren wir, dass auch bei diesen die endosmotischen und überhaupt die Kräfte, welche die Dehnung der Zellmembran bewirken, unabhängig von dem specifisch reizbaren Zustand sind und dass die auf einen Reiz eintretenden Veränderungen nur transitorisch sind, keiner fixirbaren Gleichgewichtslage der Molecüle

---

1) Die Fortpflanzung des Reizes von Zelle zu Zelle ist auch bei Reizbarkeit des Protoplasmas ebenso gut möglich, als bei Reizbarkeit der Membran. Denn schon die Contraction einer Zelle übt auf die angrenzenden Zellen offenbar genügende Zerrungen aus, um die Reizbewegung derselben auszulösen.

2) Botan. Zeitung 1861 p. 117 und 1862 p. 351.

3) Abhdlg. d. schles. Gesell. f. vaterl. Cultur 1861 p. 28.

4) Zeitschrift f. wiss. Zoologie 1863, Bd. XII p. 366.

entsprechen. Die Aenderung des Molecularzustandes, welche die Reizbewegung veranlasst, erfordert aber eine Arbeitsleistung, d. h. durch den auslösenden Reiz werden Quantitäten von Spannkraft plötzlich in lebendige Kraft übergeführt. Zu ermitteln, in welcher Weise dieses geschieht, wird eine, freilich schwierige Aufgabe zukünftiger Forschungen sein.

Der nächstliegende Gedanke ist, es möge irgend eine Substanz in den reizbaren Zellen vorhanden sein, welche sich auf Reizung plötzlich mit Sauerstoff verbindet oder eine mit Kraftentwicklung verbundene Spaltung erleidet[1], wie denn in der thierischen Physiologie die Ansicht herrschend ist, dass die Auslösung der Muskelthätigkeit auf einer Zerfällung einer krafterzeugenden, der sogenannten inogenen Substanz beruhe[2]. Es fehlen noch Anhaltspuncte um für die irritablen Pflanzenzellen eine auf Wahrscheinlichkeitsgründe gestützte Meinung auszusprechen, doch scheint es nöthig die Existenz irgend eines Stoffes zuzulassen, dessen Veränderung die Quelle der zu einer Reizbewegung nöthigen Arbeitsleistung wird[3].

Thatsache ist, dass die Veränderung, welche den Flüssigkeitsaustritt ermöglicht, immer nur vorübergehend ist und gestützt hierauf bleiben nur zwei Möglichkeiten, um die Rückkehr gereizter Organe in ihre Ruhelage, trotz Aufhebung der Reizbarkeit durch andauernde Erschütterung oder durch Chloroformirung, zu erklären. Entweder ist der hierbei zu Stande kommende Molecularzustand ein anderer als in reizem-

---

1) Dass in der Pflanze enthaltene Stoffe auch ohne Zutritt von Sauerstoff unter Abgabe von Kohlensäure zerfällt werden können, geht aus von mir mitgetheilten Beobachtungen hervor. Da die Blätter nach Entfernung aus dem Wasserstoffgas noch assimilirten, muss es nicht unwahrscheinlich erscheinen, dass eine solche Zerfällung ein normaler Zersetzungsprocess im lebenden Organismus ist (Arbeit. d. bot. Instituts in Würzburg 1871, Heft I p. 34 Anmerkung).

2) Die von Kabsch (Bot. Ztg. 1862 p. 341) mitgetheilten Versuche über das Verhalten reizbarer Pflanzen in verschiedenen Gasen erlauben keine auf unsere Frage bezüglichen Schlüsse zu ziehen.

3) Nach Bert (Mém. d. Bordeaux 1870 p. 10) ist die Temperatur der Gelenke von Mimosa, aber auch von Bohnen, etwas geringer als die der Zweige. Jedenfalls kann man aber hieraus nicht auf besondere chemische, mit Wärmeverbrauch verbundenen Processe schliessen, wie es Bert thut, da sich für die unbedingt äusserst geringe Temperaturdifferenz verschiedene mögliche Ursachen anführen liessen, auf welche Bert gar keine Rücksicht genommen hat. Nach unserm Autor tritt bei der Reizbewegung von Mimosa eine kleine Temperaturerhöhung der Gelenke ein, doch kann diese vielleicht schon durch die Bewegung von Flüssigkeit in capillaren Räumen und einige andere naheliegende Factoren ihre Erklärung finden. Jedenfalls sind Bert's Versuche noch nicht geeignet, um irgend einen Schluss daraus ziehen zu können.

pfänglichen Zellen oder der Molecularzustand ist in beiden Fällen der gleiche, nur fehlen in den erschütterten oder chloroformirten Organen die bewegenden Kräfte, welche eine vorübergehende Aenderung der molecularen Kräfte oder der Anordnung der Molecüle hervorzurufen vermögen [1]. Letztere Möglichkeit ist jedenfalls viel wahrscheinlicher, da man nicht wohl annehmen kann, dass es mehr als eine wirkliche Gleichgewichtslage der Molecularanordnung oder der molecularen Kräfte giebt, wie es ja die erste Alternative fordern würde, während bei der zweiten nur eine transitorische Aenderung nöthig ist. Es ist auch hier darauf hinzuweisen, dass bei Mimosa der Blattstiel sich ebenso schnell erhebt, wenn das Gelenk nach der Reizung in Ruhe gelassen oder continuirlich erschüttert wird und dass in letzterem Falle das in die Ruhelage zurückgekehrte Gelenk in kaum 5 Minuten seine Reizbarkeit wieder gewinnen kann, ohne dass irgend eine äusserlich sichtbare Veränderung vor sich gegangen wäre. Jedenfalls scheint es hiernach wahrscheinlich, dass wenigstens keine, die endosmotischen oder überhaupt die expandirenden Kräfte beeinflussenden Veränderungen bei dem Uebergang des nicht reizbaren in den reizempfänglichen Zustand im Spiele sind, da sonst wohl ein geringes Sinken oder Steigen des Blattstieles bemerkbar werden würde. Wenn aber der Molecularzustand der reizempfänglichen und nicht reizbaren Zellen ein gleicher ist, dann müssen irgend welche, leicht auslösbare Spannkräfte vorhanden sein und am einfachsten scheint es, dass die nöthige Arbeit durch Verbrennung oder Zerfällung irgend eines Stoffes zu Stande kommt. Unter gleichen äusseren Bedingungen würde dann an demselben Objecte die Menge der hypothetischen Substanz die Intensität der Molecularänderung und damit die Grösse der Reizbewegung bestimmen. Da wir nun bei Mimosa erfuhren, dass auch sehr geringe Reizbewegungen auslösbar sind, so würde die Erhebung des Blattstieles bei continuirlicher Erschütterung des Gelenkes wohl dahin zu deuten sein, dass die sich fortwährend bildende hypothetische Substanz immer wieder zersetzt wurde, ehe sie in genügender Menge sich anhäufte, um eine solche Aenderung des Molecularzustandes herbeizuführen, wie sie zur Hervorrufung der Reizbewegung erforderlich ist. Chloroform müsste dann entweder die Zersetzbarkeit der fraglichen Substanz verhindern oder die Molecularänderungen, welche den Austritt von Flüssigkeit aus den

---

1) Die auslösende Kraft kann gegenüber dem durch die Contraction der Filamente repräsentirten Werthe natürlich sehr klein sein, da sie ja nur eine Verschiebung der Molecüle hervorzubringen hätte, in Folge dessen Verkürzung und Austritt von Flüssigkeit durch die Elasticität der gedehnten Membranen zu Stande kommt.

Zellen hervorrufen, unmöglich machen. Wenn ich mich eben nur auf hypothetischem Boden bewegte, was nachdrücklichst hier hervorgehoben sei, so geschah es, um auf Fragen hinzuweisen, deren Lösung wohl von der Zukunft erwartet werden darf. Bei Mimosa habe ich schon angedeutet, wie diese Fragen vielleicht mit der Frage über die Ursache der Fortleitung des Reizes in Zusammenhang stehen.

Bekanntlich wird, wie Brücke zuerst zeigte, bei der Reizung von Mimosa pudica die Biegungsfestigkeit des Gelenkes sehr vermindert und ebenso erschlaffen, wie Hofmeister[1]) darthat, die Filamente der Cynareen bei der auf Reiz erfolgten Verkürzung, was ich nach Untersuchungen an Onopordon illyricum und Cynara Scolymus bestätigen kann. Nachdem die Filamente durch Wegnahme der entsprechenden Theile der Corolle freigelegt waren, wurde der Griffel entfernt und die Röhre der Blumenkrone auf einen Kork festgesteckt und hier durch Torf feucht gehalten. An die Spitze der Antherenröhre klebte ich mit Lack eine Nadelspitze von 5 bis 8 Milligramm Gewicht, die als Index an einem ausgeschnittenen Gradbogen diente, welcher so befestigt war, dass dessen Mittelpunct zwischen die Staubfäden und zwar ziemlich nahe gegen deren Insertionsstelle in die Corolle fiel. Nachdem die Staubfäden sich von der Reizung erholt hatten, wurde ein Maass für deren Biegungsfestigkeit nach der Brücke'schen Methode gewonnen, indem bei jedesmaliger horizontaler Stellung der Antherenröhre die Grade notirt wurden, auf welche die Nadelspitze vor und nach der Umkehrung um 180° zeigte. Die so erhaltene Differenz erwies sich nach der Reizung in allen Fällen 2 bis 3mal so gross als zuvor. Daraus sehen wir, dass eine sehr ansehnliche Verminderung der Biegungsfestigkeit eintrat, wenn wir auch kein relatives Maass für die Grösse der Steifheit vor und nach der Reizung gewinnen, schon deshalb nicht, weil die Beugung in der ganzen Länge der gereizten Filamente stattfand und ein gewöhnlicher Kreisbogen zum Versuche angewandt wurde. Uebrigens schloss gewöhnlich die grössere Amplitude, welche nach Reizung für aufrechte und umgekehrte Lage abgelesen wurde, die vor der Reizung notirten Grade in sich ein, so dass unsere Versuche in jedem Falle für eine Erschlaffung völlig beweisend sind. Endlich sei auch hier bemerkt,

---

1) Pflanzenzelle p. 311.

dass in einigen Versuchen alle Staubfäden bis auf einen entfernt waren und sich auch in diesem Falle ein übereinstimmendes Resultat ergab.

Ich beschränke mich darauf hier zwei Beispiele anzuführen, von denen Nr. 1 sich auf Onopordon illyricum, Nr. 2 sich auf Cynara Scolymus bezieht. Minuend und Subtrahend geben die in den beiden um 180° verschiedenen Stellungen abgelesenen Grade an.

1)	Vor Reiz	95°—80°	Diff.	15°
	Nach Reiz	105°—75°	»	30°
2)	Vor Reiz	116°—70°	Diff.	46°
	Nach Reiz	140°—60°	»	80°

Bei Mimosa pudica und bei den Staubfäden der Cynareen ist ein auf Reiz erfolgender Austritt von Flüssigkeit festgestellt, der unbedingt eine Verminderung der Biegungsfestigkeit herbeiführen muss. Denn die Spannung von elastischen Membranen wächst nothwendig proportional dem hydrostatischen Druck, d. h. dem in die Zelle aufgenommenen Wasservolumen, und gleichzeitig nimmt auch die Steifheit jeder einzelnen Zelle in einem nicht anzugebenden Verhältniss zu [1]), wie man sich an einem Schlauche, in den Wasser gepresst wird, leicht klar machen kann. Mit der Steifheit jeder einzelnen Zelle wächst aber natürlich auch die Biegungsfestigkeit des ganzen Gewebes.

Bei den Staubfäden von Cynara stellte ich aber fest, was übrigens für die Gelenke von Mimosa jedenfalls auch gilt, dass die Elasticität der Membran bei der Contraction des Filamentes sich nicht ändert, woraus folgt, dass das Sinken der Biegungsfestigkeit allein auf der Verminderung des Turgors beruht, die Zellmembran aber dabei, vermöge Ausstossung von Wasser oder anderen inneren Veränderungen, nicht betheiligt ist.

Hofmeister[2]) sucht allgemein die Biegungsfestigkeit von Pflanzentheilen auf Steifheit der Membranen zurückzuführen und erkennt gelegentlich dem hydrostatischen Druck des Zellinhalts nur einen untergeordneten Werth zu. Es ist aber klar, dass sobald irgend ein hydrostatischer Druck die Membranen negativ gespannt hält, ein gewisses Maass von Biegungsfestigkeit nothwendig dadurch entsteht und wo die Membranen sehr zart sind, da wird die Steifheit eines Gewebes wesentlich

1) Vergl. Nägeli und Schwendener, Mikroskop p. 411.

2) Pflanzenzelle p. 267 ff. u. 278 ff. — Hofmeister bezeichnet die Steifheit der Membran als »Turgor«, worunter ich mit Sachs nur den hydrostatischen Druck in den Zellen verstehe.

nur auf dem Turgor beruhen[1]. Haben aber die Membranen für sich eine gewisse Biegungsfestigkeit, so kommt diese natürlich auch für die Steifheit des ganzen Gewebes in Betracht. Es ist aber anzunehmen, dass Verminderung der Biegungsfestigkeit von Geweben zunächst immer auf Sinken des Turgors beruht, weil, wie Hofmeister[2]) selbst hervorhebt, die Membran viel schwieriger Imbibitionsflüssigkeit, als der Zellinhalt Wasser abgiebt. Es ist hier nicht der Ort zu zeigen, dass auch das von Unger mit gewelkten Sprossen ausgeführte Experiment, auf das Hofmeister[3]) besonderes Gewicht gelegt, einen Beweis für seine Ansicht durchaus nicht liefert. Mir genügt es für unseren speciellen Fall festgestellt zu haben, dass die auf Reiz eintretende Erschlaffung ausschliesslich eine Folge des sinkenden Turgors ist, und darauf hingewiesen zu haben, dass eben diese Ursache bei der Erschlaffung lebender Gewebe überhaupt wohl jedenfalls die wesentlichste Rolle spielt[4]).

Eine andere, speciell unsere Untersuchungsobjecte berührende Frage ist die, welches Maass von Biegungsfestigkeit durch die Spannung zwischen Gefässbündel und Epidermis einerseits und Parenchym anderseits bedingt ist. Da bei der Verkürzung eines Filamentes und auch bei der auf Reiz erfolgenden Krümmung diese Spannungen sich vermindern, so wird auch das Maass der hierdurch eventuell bedingten Steifheit des Organes sinken. Es ist allerdings möglich, ja wahrscheinlich, dass die sinkende Spannung der Gewebecomplexe an der Verminderung der Biegungsfestigkeit eines gereizten Filamentes der Cynareen oder eines Gelenkes von Mimosa einen, aber jedenfalls ziemlich geringen Antheil hat, der sich indess zur Zeit nicht wohl feststellen lässt. Es ist nicht einmal bekannt, und auch nicht mit Sicherheit vorher zu sagen, welches Maass von Biegungsfestigkeit durch gegenseitige Spannung elastischer unorganisirter Körper entsteht und wenn auch dieses ja unschwer auf experimentellem Wege zu entscheiden wäre, so würde man doch die erhaltenen Resultate nicht ohne weiteres auf die gespannten Schichten pflanzlicher Gewebe übertragen können. Da einige Gründe hierfür sehr nahe liegen, so unterlasse ich es, auf diesen Punct einzugehen.

Hofmeister[5]) scheint freilich in dem Sinken der Spannung der Gewebeschichten eine wesentliche, wenn nicht die hauptsächlichste

1) Nägeli und Schwendener, Mikroskop p. 411.
2) Pflanzenzelle p. 268 u. 273.
3) Ebenda p. 278.
4) Zu vergl. Sachs, Lehrbuch III. Aufl. p. 703 ff.
5) Pflanzenzelle p. 304.

Ursache der verminderten Biegungsfestigkeit des auf Reiz gekrümmten Gelenkes zu suchen, eine Ansicht, die jedenfalls nicht zutrifft[1]. Ich habe freilich nicht versucht zu eruiren, wie viel die Verminderung der Gewebespannung wohl zur Erschlaffung des Gelenkes beitragen mag, da diese an und für sich schwierige Frage für meine Zwecke eine zu untergeordnete Bedeutung hatte. Mir genügte es zu wissen, dass der Turgor der Zellen bei der Reizung sinkt und dass hierdurch nothwendig eine ansehnliche Verminderung der Steifheit herbeigeführt werden muss. Uebrigens hat Brücke[2] schon in dieser Weise die Erschlaffung des Gelenkes von Mimosa richtig erklärt.

Nach unseren Untersuchungen kann kein Zweifel darüber sein, dass die in den reizbaren Zellen des Gelenkes von Mimosa und der Staubfäden der Cynareen bei Reizung vor sich gehenden Veränderungen übereinstimmend sind. In beiden Fällen erfolgt aus gleichen Ursachen Austritt von Flüssigkeit aus den Zellen und ist die Wiederaufnahme von Flüssigkeit von dem specifisch reizbaren Zustand unabhängig. In jeder einzelnen Zelle ist die Bedingung der Contraction in der elastisch gedehnten Membran gegeben und auch ohne andere pressende Kräfte, die Hofmeister[3] fordert, kann ein gewisses Maass von Verkleinerung erfolgen, das allerdings durch sich expandirende (Mimosa) oder passiv gedehnte Gewebe vergrössert wird.

Der äusserlichen Erscheinung nach weichen freilich die Reizbewegungen von Mimosa und den Staubfäden der Cynareen von einander ab, was aber allein seinen Grund in der Anordnung der reizbaren und zugleich in der Beschaffenheit der nicht reizempfänglichen Gewebe hat. In beiden Fällen ist das Parenchym das wahrscheinlich allein, sicher wenigstens vorzüglich reizbare Gewebe, welches bei unseren Filamenten allseitig das Gefässbündel umgiebt, das selbst aus Elementarorganen mit leicht dehnbaren und elastischen Wandungen besteht. Das Gefässbündel des Gelenkes von Mimosa kann für uns als undehnbar gelten und nur auf einer Seite dieses liegt das reizbare Parenchymgewebe. Die Epidermis ist bei den Filamenten der Cynareen auch im contrahir-

---

1) Ueber Gewebespannung und ihre Ursachen vgl. Sachs, Lehrbuch III. Aufl. p. 694 und 710.

2) Müller's Archiv 1848 p. 443.

3) Pflanzenzelle p. 303, 305, 311.

ten, bei den reizbaren Polsterhälften von Mimosa wenigstens immer im expandirten Zustand negativ gespannt.

Die übrigen bekannten reizbaren Objecte des Pflanzenreichs schliessen sich, was die Anordnung des reizbaren Gewebes und die damit in Verbindung stehende äusserliche Erscheinung der Reizbewegung betrifft, im Allgemeinen entweder den Gelenken von Mimosa oder den Staubfäden der Cynareen an, welche wir, wie das auch schon von Hofmeister geschehen ist, als zwei Typen ansehen können. Es ist aber wohl auch mit Sicherheit anzunehmen, dass die innere Ursache der Reizbewegungen, soweit sie sich auf das Verhalten der reizbaren Zellen erstrecken, bei allen anderen empfindlichen Pflanzentheilen eine gleiche wie bei den von uns untersuchten Objecten sein wird. Für Oxalis Acetosella ist diese Uebereinstimmung als erwiesen anzusehen, weil mit der Reizbewegung eine Erschlaffung des Gelenkes eintritt. Der anatomische Bau der Gelenke von Mimosa und anderen reizbaren Blättern bietet gegenüber unempfindlichen Gelenken nichts Auffallendes, und dasselbe gilt auch bezüglich der reizbaren und nicht reizbaren Staubfäden[1]. Freilich müssen gewisse Bedingungen jedenfalls erfüllt sin, damit, ein empfindliches Object vorausgesetzt, die Reizbarkeit äusserlich sichtbar wird. So dürfen nicht etwa Gefässbündel oder andere Gewebecomplexe, sei es vermöge ihrer Anordnung oder ihres übermässig kräftigen Baues, die von reizbaren Zellen angestrebte Bewegung verhindern, und die Zellwände müssen eine gewisse Dehnbarkeit und Elasticität besitzen, wenn eine Contraction zu Stande kommen soll. Aber auch wenn geeignete Bedingungen der eben angedeuteten Art gegeben sind, so kann ein Object doch unempfindlich sein, wie z. B. die Staubfäden von Helianthus annuus zeigen. Diese besitzen nicht nur leicht dehnbare und vollkommen elastische Zellwände, sondern es gleicht auch der Zellinhalt bei mikroskopischer Betrachtung dem reizbarer Filamente von Cynareen und steht auch anscheinend an Glycosegehalt nicht nach. Auch sind die Membranen der turgescirenden Zellen gedehnt und dennoch sind die Filamente von Helianthus nicht reizbar, wenigstens nicht für das ohne Hülfsmittel beobachtende Auge. Dieser Fall zeigt uns in besonders schlagender Weise, dass auffällige Reizbarkeit eine specifische Eigenthümlichkeit gewisser Pflanzen ist, wo ja dann auch noch Beschränkung auf einzelne Organe und Zellen hinzukommt, wie das bei den beiden Wulsthälften von Mimosa der Fall ist.

---

1) Schon von H. v. Mohl hervorgehoben. Vegetabilische Zelle 1851 p. 148.

Bekanntlich ist die Empfindlichkeit reizbarer Objecte eine sehr ungleiche. Während Mimosa pudica auf den leisesten Anstoss reagiren kann, bedarf es bei Oxalis Acetosella und bei Robinia [1]) wiederholter Erschütterung um die Blättchen zum Senken zu bringen. Es mag hier auch bemerkt werden, dass die Blättchen von Desmanthus plenus sehr reizbar sind, während die Gelenke der primären Blattstiele keine merkliche Reizbarkeit zeigen.

Alle bekannten in auffälligerer Weise reizbaren Pflanzentheile sind entweder Laubblätter oder Blüthentheile (Filamente und Pistille), also sämmtlich, von morphologischer Seite betrachtet, Blattorgane. Es ist nicht daran zu zweifeln, dass in geringerem Maasse reizbare Blattorgane bei genauer Nachforschung noch vielfach gefunden werden, ich kann hier als ein Beispiel Acacia lophanta nennen, deren Blättchen sich bei wiederholter Erschütterung aufwärts zusammenschlagen. Ich möchte aber auch glauben, dass der Ausspruch Mohl's [2]), geringe Reizbarkeit möge eine, dem Zellgewebe überhaupt zukommende Eigenschaft sein, gerechtfertigt ist, sofern wir in voller Lebensthätigkeit stehende Zellen im Auge haben. Ich erinnere hier daran, wie sich bei Nitella und Algen der Primordialschlauch auf leichten Druck von der Zellwand zurückzieht und so mögen äussere Anstösse überhaupt auf das Protoplasma ihren Einfluss geltend machen, wofür ja vielfache Erfahrungen sprechen [3]).

Die Zahl der Familien, aus denen in auffallender Weise reizbare Pflanzen sicher bekannt sind, ist eine ziemlich beschränkte und manche Angaben bedürfen noch der Bestätigung. So sind bei älteren Autoren die als Folge von Wachsthumsvorgängen Nutation zeigenden Staubgefässe, die wandernden Staubgefässe von Medicus, nicht selten als reizbare aufgeführt, und dieses gilt auch für hervorschnellende Filamente der Art, wie sie bei Urtica und Parietaria vorkommen, ebenso für klappige Narben, die eine Zeit geöffnet sind, um sich später für immer zu

---

1) Mohl, Vermischte Schriften 1845 p. 372. Eine Senkung der Blättchen von Robinia fructescens bei Erschütterungen glaubt übrigens schon Medicus (Pflanzenphysiol. Abhandlg. 1803 p. 157) beobachtet zu haben. — Es sei hier bemerkt, dass bei Robinia Pseudo-Acacia die Parenchymzellen in den Gelenken der primären Blattstiele und den Blättchen sehr reich an Glycose sind.

2) Vegetabilische Zelle 1851 p. 149.

3) Vgl. Hofmeister, Pflanzenzelle p. 9 und 49. — Eine ausgesprochene Erschlaffung des Parenchyms dürfte nach Sachs an der concav werdenden Seite windender Ranken eintreten (Lehrbuch III. Aufl. p. 772). Wahrscheinlich dürfte eine ähnliche Erschlaffung durch Wasseraustritt auch bei jugendlichen erschütterten Sprossen vorkommen, doch ist dieselbe hier jedenfalls nicht die hauptsächliche Ursache der Krümmung, wie aus der lichtvollen Darstellung von Sachs (Lehrbuch III. Aufl. p. 692) hervorgeht.

schliessen. Auf solche Verwechselungen werde ich im Folgenden nur dann hinweisen, wenn sie sich bis in neuere Zeit erhalten haben. Uebrigens will ich hier nur darauf aufmerksam machen, von welchen Pflanzen reizbare Organe, soweit mir die Literatur bekannt ist, angegeben sind.

Zu dem durch Mimosa pudica repräsentirten Typus gehören zunächst die zahlreichen anderen reizbaren Mimoseen [1]), ferner die Robinia-Arten, die sensitiven Oxalideen und Dionaea muscipula [2]). Von Staubfäden gehören zweifellos hierher die der Berberideen. Auch die Columna von Stylidium und der reizbare Griffel von Goldfussia anisophylla dürften hier ihre Stelle finden, ebenso der Beschreibung nach die aufschnellenden Lippen der Blüthen von Leeuwenhoekia [3]) und Caleanea nigrita [4]) (Orchidee). Dann sind hierher zu stellen die auf Reiz zusammenschlagenden Narben, welche namentlich von Mimulus bekannt sind, indess nach den Angaben der Autoren in der Familie der Scrophularineae verbreiteter sind, so kommen sie noch vor bei Torenia nach Hofmeister [5]), bei Gratiola, Antirrhinum spec., Scrophularia lucida nach Medicus [6]). Mir selbst ist noch die Reizbarkeit an den Narben von Martynia-Arten (Sesameae) und einigen Bignoniaceen [7]) bekannt (an beiden entdeckt von Kölreuter). Reizbare Narben sollen sich nach Medicus [8]) ausserdem noch finden bei Cleome arabica (Capparideae), Justicia ciliaris und hysopifolia (Acanthaceae) und Lavandula dentata und latifolia. Auch an Narben von Lobelia [9])-Arten will Medicus Reizbarkeit beobachtet haben.

Wie ich schon früher bemerkte, scheinen alle Cynareen reizbare Staubfäden zu besitzen, die aber auch bei manchen Pflanzen aus anderen Abtheilungen der Compositen vorkommen, wofür ich Telekia speciosa (Asteroideae und Cichorium Intybus (Cichoraceae) nennen kann,

---

1) Eine Aufzählung bei Meyen, Physiologie Bd. III p. 539 und Dassen, Wiegmann's Archiv 1838, Bd. I p. 347.

2) Ob die Blätter von Drosera hierher zu stellen sind, lasse ich dahin gestellt. Es scheint zwar sehr wahrscheinlich, dass dieselben in unserem Sinne reizbar sind, doch ist bei der Langsamkeit der Bewegung die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass die Einkrümmung ein Wachsthumsvorgang ist.

3) R. Brown, Vermischte Schriften übersetzt von Nees von Esenbeck 1827, Bd. 3 p. 429.

4) Lindley, Botanical register, appendix Part III, 1840 p. 54.

5) Pflanzenzelle p. 305.

6) Pflanzenphysiol. Abhandlungen 1803 p. 67, 145, 155.

7) Siehe Clos, Bullet. d. l. soc. bot. d. France 1869 p. 114.

8) L. c. p. 150 ff.

9) L. c. p. 33.

bei denen indess die Reizbarkeit nur gering ist [1]. Ferner dürften diesem Typus die Filamente von Opuntia und Cereus [2] beizugesellen sein und Hofmeister reiht auch die Staubfäden von Helianthemum, Cistus und Sparmannia hier an. Zur Zeit fehlt mir das Material um mir selbst ein Urtheil zu bilden.

Die Reizbarkeit der Staubfäden von Heliotropium [3], sowie der Corolle von Ipomaea sensitiva [4] und Amaryllis saltatoria [5] scheint mir sehr zweifelhaft. Unrichtig sind aber die Angaben über Reizbarkeit der Staubfäden von Malva [6] und Medicago [7] und auch an einer Anzahl Narben von Gesneraceen [8] habe ich nichts von Reizbarkeit finden können [9].

Bis auf Brücke wurden die auf Reiz und die periodisch erfolgenden Bewegungen verwechselt, deren Unabhängigkeit von einander sich schon einfach daraus ergiebt, dass ein am Abend gesenkter primärer Blattstiel von Mimosa auf Reizung des Gelenkes eine ebenso ansehnliche Bewegung als am Tage ausführt. Eine andere Frage ist es, ob die inneren Veränderungen bei beiden Bewegungserscheinungen durchaus verschieden oder gleichartig und nur quantitativ verschieden sind, in welchem letzteren Falle nur andere bewegende Kräfte im Spiele sein würden. Eine bestimmte Antwort ist hier nicht zu geben, weil wir über innere Vorgänge, welche die Tag- und Nachtstellung hervorrufen, noch

---

1) Es ist hier auf die früher citirten Arbeiten von Gmelin und Kölreuter zu verweisen, ausserdem auf Daniel Müller (Bot. Ztg. 1853 p. 789). Nach diesem sind bei Cryptostemma calendulacea und Arctotis breviscapa die Pistille auch reizbar, ich kann indess bei letzterer Pflanze, wie auch bei einer nahestehenden (Venidium calendulacea) von einer Reizbarkeit des Pistills nichts finden. Letzteres wird hier nur, namentlich bei Venidium in auffallender Weise, durch die sich verkürzenden Filamente hin und her gebogen.

2) Hofmeister, Pflanzenzelle p. 310.

3) Duhamel, Physique des arbres 1758, II p. 167.

4) Dutrochet, Réch. anatom. etc. 1824 p. 64.

5) De Candolle, Pflanzenphysiol. übers. von Röper 1835, Bd. II p. 652.

6) Angegeben von Morren, Réch. sur le mouv. du Sparmannia in Mém. de l'Acad. royale de Bruxelles 1841 p. 20 des Separatabzuges.

7) Angegeben von Presl, vgl. Treviranus, Pflanzenphysiologie, Bd. II p. 741.

8) Als reizbar bezeichnet bei Cohn, Abhandlg. d. schles. Gesell. f. vaterl. Cultur 1861 p. 34.

9) Die mehrfache Angabe von Reizbarkeit der Pollinarien der Orchideen (Gmelin, Lindley u. A.) kann man wohl auf sich beruhen lassen.

keinen Aufschluss haben. Hofmeister nimmt hier Veränderungen in den Zellmembranen an, während es mir viel wahrscheinlicher scheint, dass auf einem wechselnden Turgor der Zellen die Bewegungsursache beruht, wenn ich auch auf meine eigenen unvollkommenen Beobachtungen hin etwas Sicheres durchaus nicht behaupten kann [1].

Die Ansicht der meisten Forscher [2] geht dahin, dass die inneren Veränderungen bei den Reizbewegungen und den periodischen Bewegungen nur quantitativ verschieden seien, während Bert [3] sich entschieden gegen eine jede Uebereinstimmung erklärt. Indess vermisse ich eine Auseinanderhaltung der factisch stattfindenden inneren Veränderungen und der treibenden Kräfte und ohne dieses ist eine richtige Auffassung unmöglich. Bei nicht reizbaren Blättern nimmt nach Hofmeister [4] die Steifheit des Gelenkes des Nachts so gut, wie bei Mimosa zu, dieses, so wie der Umstand, dass die Amplitude der periodischen Bewegungen bei reizbaren und nicht reizbaren Blättern gleich gross gefunden wird, berechtigt wohl zu der Annahme, dass die innere Zustandsänderung in beiden Fällen gleich energisch sein kann. Daraus folgt, dass das Maass der bei periodischen Bewegungen vor sich gehenden inneren Aenderungen unabhängig von einer ausgesprochenen Reizbarkeit der Bewegungsorgane ist. Entweder sind nun die auf einen äusseren Anstoss in reizbaren Zellen sich abwickelnden inneren Veränderungen durchaus verschieden von den Aenderungen, durch welche die periodischen Bewegungen hervorgerufen werden, oder wenn beide gleich sind, dann sind jedenfalls die treibenden Kräfte andere. Denn nur bei den auf Reiz reagirenden Pflanzen wird vorhandene Spannkraft plötzlich in lebendige Kraft übergeführt und nur bei den reizbaren Pflanzen ist eine plötzliche Auslösung der Spannkraft möglich.

Wenn eine im Dunkeln verweilende Mimosa pudica nach Erlöschen der Reizbarkeit noch periodische Bewegungen ausführt, so ist hier jedenfalls zum mindesten eine Trennung der vermittelnden Kräfte erzielt. Eine Eliminirung der die Reizbewegung vermittelnden Kraftquelle ist vielleicht auch bei Bert's [5] Versuchen mit Aether gelungen. Wenn

---

1) Auch die spontanen Aenderungen bei Hedysarum Gyrans dürften durch wechselnden Turgor bedingt sein.

2) So Hofmeister, Pflanzenzelle p. 320 und Millardet, Nouv. récherches etc. 1869 p. 44.

3) Mémoir de l'Acad. d. sc. phys. et natur. d. Bordeaux 1866 p. 34 des Separatabzuges und 1870 p. 55.

4) Pflanzenzelle p. 330.

5) Mém. de l'Acad. d. sc. phys. et natur. d. Bordeaux 1866 p. 30 d. Separatabzuges.

ich sage vielleicht, so thue ich dieses deshalb, weil mir die mitgetheilten Versuche nicht genügende Garantie zu bieten scheinen, dass die aetherisirten Pflanzen noch periodische Bewegungen ausführten. Indess scheint es mir keineswegs unwahrscheinlich, dass die Blätter von Mimosa pudica auch dann noch die periodischen Bewegungen fortsetzen, wenn die Reizbarkeit durch Aether oder durch andauernde Erschütterung aufgehoben ist. Es ist dieses aber erst durch entscheidende Experimente festzustellen, die im Vereine mit anderen feststehenden oder noch zu gewinnenden Thatsachen übrigens zu mancherlei Schlussfolgerungen führen dürften.

Von Interesse für uns sind Versuche Bert's [1], in welchen Pflanzen von Mimosa pudica während 5 Tagen ununterbrochen beleuchtet wurden. Obgleich die Beleuchtung keineswegs gleichförmig war, so verminderte sich doch die Amplitude der periodischen Bewegungen [2] sehr ansehnlich, während die Reizbarkeit zunahm. Aus diesem Verhalten folgt also, dass die Unterhaltung des reizbaren Zustandes vom Beleuchtungswechsel unabhängig ist, während durch diesen die periodischen Bewegungen vermittelt zu werden scheinen. Ueber diesen Punct müssen jedenfalls neue Untersuchungen angestellt werden, denn seitdem Sachs zeigte, dass in vollkommener Finsterniss und bei Gleichhaltung anderer äusserer Verhältnisse die Periodicität des Längenwachsthums verschwindend wird [3], muss es wahrscheinlich scheinen, dass auch die periodischen Bewegungen schon durch geringen Wechsel äusserer Verhältnisse, wahrscheinlich der Beleuchtung, veranlasst werden [4].

Die hauptsächlichsten Ergebnisse meiner Untersuchungen sollen im Folgenden kurz zusammengefasst werden.

Die Expansion auf Reiz contrahirter Zellen erfolgt ausschliesslich durch im Zellinhalt entwickelte Kräfte, welche jedenfalls zum guten Theil, wahrscheinlich sogar ganz, auf endosmotischer Wasseraufnahme

1) Ebenda 1870, Bd. VIII p. 11.

2) Es sei hier die Bemerkung erlaubt, dass schon v. Mohl (Flora 1832 p. 502 Anmerkung und Vermischte Schriften p. 374) und ebenso Dassen (Wiegmann's Archiv 1838 p. 218) beobachteten, dass der primäre Blattstiel von Mimosa pudica sich nur Abends senkt, um des Nachts sich steiler als am Tage in die Höhe zu richten. Ich erwähne dieses, weil Bert sich auf seine vermeintliche Entdeckung etwas besonderes zu Gute thut (Mémoir d. Bordeaux 1870 p. 20).

3) Arbeit d. bot. Instituts in Würzburg Heft II p. 167.

4) Vgl. Sachs, Lehrbuch III. Aufl. p. 717.

beruhen. Es lässt sich aber die Möglichkeit nicht ausschliessen, dass das Protoplasma vermöge eines eigenthümlichen Gestaltungsstreben an der Dehnung der Zellmembran mitbetheiligt ist, wenn dieses auch nicht wahrscheinlich scheint.

Eine Reizung ruft Veränderungen hervor, welche ohne Steigerung des auf den Zellinhalt durch die elastische Membran ausgeübten Druckes einen Austritt von Flüssigkeit aus dem Zelllumen ermöglichen. Man darf als ziemlich gewiss ansehen, dass nur das Protoplasma empfindlich ist, indem sich wahrscheinlich der Filtrationswiderstand des Primordialschlauches in Folge einer Reizung vermindert.

In jeder einzelnen reizbaren Zelle sind die Bedingungen für einen Austritt von Flüssigkeit durch die elastische Kraft der gedehnten Zellwand gegeben, doch wird durch die passiv gedehnten Gewebe der Austritt von Flüssigkeit aus den Zellen und überhaupt die Verkürzung des gereizten Organes gesteigert. Die Zellwand stösst offenbar gar keine Imbibitionsflüssigkeit aus.

Die Zellwände brauchen durchaus keine besondere Durchlässigkeit für Wasser zu besitzen, um innerhalb der Zeitdauer einer Reizbewegung das von den Zellen abgegebene Quantum Flüssigkeit in die Intercellularräume treten zu lassen.

Die verminderte Biegungsfestigkeit gereizter Organe wird wesentlich nur durch den sinkenden Turgor der Flüssigkeit abgebenden Zellen herbeigeführt.

Die im Zellinhalt entwickelten expandirenden Kräfte sind von dem specifisch reizbaren Zustand der Zellen durchaus unabhängig.

Die in Folge der Reizung hervorgerufenen molecularen Aenderungen treten nur vorübergehend ein und lassen sich nicht durch solche Mittel fixiren, welche die Reizbarkeit sistiren.

Wird ein gereiztes Gelenk von Mimosa pudica in genügend kurzen Intervallen berührt, so wird der Blattstiel ebenso schnell, wie durch ein in Ruhe gelassenes Polster erhoben. Nach der Unterbrechung der andauernden Erschütterungen kehrt die Reizbarkeit in kürzerer Zeit zurück, ohne dass eine äusserlich sichtbare Veränderung wahrzunehmen ist. Die Sistirung der Reizbarkeit durch andauernde Erschütterung erstreckt sich nur auf das unmittelbar berührte Gelenk, wie auch die Wirkung von Chloroform und Aether durchaus localisirt bleiben.

Die empfindliche Gelenkhälfte von Mimosa verliert bei der Reizbewegung an Volumen, indem Flüssigkeit aus ihr austritt. Ein Theil dieser fliesst in den Intercellularräumen dem nächst angrenzenden Parenchym der Zweige und des Blattstiels zu, ein anderer Theil tritt in die an Rauminhalt gewinnende nicht reizbare Polsterhälfte. Ein Uebertritt von Flüssigkeit in das Gefässbündel ist nicht sicher gestellt. In einer beschränkten Anzahl von Intercellularen der empfindlichen Polsterhälfte wird bei der Reizbewegung Luft durch Flüssigkeit ersetzt, doch geschieht dieses nur in den Parenchymschichten, welche dem immer Luft in den Zwischenzellräumen führenden, das Gefässbündel zunächst umgebenden parenchymatischen Gewebe unmittelbar angrenzen.

Die mittleren Mantellagen des Parenchyms sind das reizbarste Gewebe im Gelenke von Mimosa. Bei einer Reizung vermehrt namentlich das Expansionsstreben der nicht empfindlichen Wulsthälfte die Grösse der Reizbewegung. Die Epidermis ist im reizempfänglichen Gelenke immer negativ, im gereizten oft ein wenig positiv gespannt. Bei Oxalis Acetosella sind die Verhältnisse ähnlich wie bei Mimosa, doch ist hier die Compression der erschlaffenden Wulsthälfte eine ungleich bedeutendere.

Bei den Filamenten der Cynareen sind die Parenchymzellen die vorzüglich reizbaren, Epidermis und Gefässbündel sind jedenfalls zum guten Theil, wenn nicht ganz passiv gedehnt, übrigens auch nach auf Reizung erfolgter Contraction des Filamentes noch negativ gespannt.

Die cylindrischen Parenchymzellen der Staubfäden verkürzen sich, ohne dass die Querdurchmesser derselben zunehmen. Die aus diesen Zellen austretende Flüssigkeit wird in den ansehnlichen Intercellularräumen zurückgehalten, indem sie Luft verdrängt.

Die Seitenwände der Parenchymzellen in den Filamenten der Cynareen sind in mit der Längsachse des Staubfadens paralleler Richtung bei vollkommener Elasticität sehr dehnbar, während in der hierzu senkrechten Flächenrichtung die Dehnbarkeit jedenfalls eine weit geringere, die Elasticität eine grössere ist.

Der Breitendurchmesser verändert sich an den auf Reiz sich verkürzenden Filamenten der Cynareen nicht oder nicht wesentlich, während die Dicke (der radiale Durchmesser bezüglich der Blüthenachse) ein wenig zunimmt, das Volumen des Staubfadens sich aber sehr wesentlich vermindert. Die geringe Verdickung wird durch die passiv gedehnten Gewebe veranlasst, doch mögen kleine Verschiebungen und Distanzveränderungen der Parenchymzellen mitbetheiligt sein.

Nachdem das Optimum der Reizbarkeit der Filamente der Cynareen überschritten ist, beginnt eine allmälige Verkürzung derselben, indem der Turgor der Zellen sinkt, um mit dem endlichen Absterben ganz zu verschwinden. Hierbei werden die zarten Wände der Parenchymzellen quer gewellt und das Gefässbündel wellenförmig hin und her gebogen, indem die passiv gedehnte Epidermis eine Compression in der Längsrichtung des Staubfadens ausübt.

Werden die Blättchen von Oxalis von Sonnenstrahlen getroffen, so senken sie sich, indem diese ähnlich, wie ein mechanischer Reiz wirken. Hingegen ist die auf Temperatursteigerung erfolgende langsamere Senkung der Blättchen nicht mit einer Erschlaffung der Gelenke verbunden.

Nachtrag.

Die in der Ruhelage spreizenden Staubfäden von Berberis vulgaris führen auf eine Reizung bekanntlich eine solche Bewegung aus, dass die Antheren an den Narbenrand schlagen. Hierbei krümmt sich, wie es auch Unger[1]) und Kabsch[2]) angeben, das ganze Filament concav nach Innen, ausgenommen die etwas angeschwollene Partie unmittelbar unter den Antheren, welche überhaupt nicht reizbar ist. Die Krümmung der 2 bis 2,5 Millim. langen reizbaren Partie des Filamentes kann sich bis zu einem Radius von 2 und selbst von 1,5 Millim. steigern und ist, wie sich durch Rechnung leicht zeigen lässt, vollkommen ausreichend, um das Anschlagen der Antheren an die Narbe zu vermitteln. Hofmeister's[3]) Angabe, dass die Einkrümmung fast nur in einer dicht über der Insertion der Filamente liegenden Zone stattfinde, kann ich nicht bestätigen, auch haben mir Messungen am ungereizten und gereizten Filamente eine solche Verkürzung ergeben, wie sie die Rechnung für die Sehne des gekrümmten Staubfadens verlangt. Sowie an den Gelenken von Mimosa kann man auch an den Filamenten von Berberis die nicht reizbare äussere Hälfte berühren, ohne eine Reizbewegung hervorzurufen. Dieses gelingt nicht selten auch bei Berührungen, welche unmittelbar über der Insertionsstelle auf der Innenseite der

1) Anatomie und Physiologie 1855 p. 419.
2) Bot. Zeitung 1861 p. 26.
3) Pflanzenzelle p. 305.

Staubfäden applicirt werden, während ausserdem, die schon erwähnte Partie unterhalb der Antheren ausgenommen, die Innenseite äusserst reizbar ist.

Wie an den durchschnittenen Gelenken von Mimosa lässt sich auch an den durchschnittenen Filamenten von Berberis das Hervorschiessen von Flüssigkeit während der Reizkrümmung beobachten. Es gelingt dieses sowohl an Staubfäden, welche unterhalb der Antheren, als auch an solchen, welche dicht über der Einfügungsstelle durchschnitten sind, in welchem letzteren Falle die Antheren zwischen nassen Torf eingeklemmt werden müssen. Uebrigens ist einige Vorsicht, namentlich Aufenthalt der Versuchsobjecte in dampfgesättigter Luft zum Gelingen des Experimentes nothwendig. Die Constatirung des rapiden Hervorschiessens von Flüssigkeit ist deshalb von Interesse, weil in dem reizbaren Theile der Filamente von Berberis Intercellularräume fehlen [1]. Zwischen den kleinen Zellen mit nur mässig dünnen Membranen findet sich reichliche sogenannte Intercellularsubstanz, deren ansehnliche Quellungsfähigkeit wohl bedeutungsvoll für die schnelle Fortleitung der aus den gereizten Zellen austretenden Flüssigkeit sein wird.

Die Wiederaufnahme von Flüssigkeit in die auf Reiz verkürzten Zellen der Filamente von Berberis ist, sowie auch bei Mimosa, von dem specifisch reizbaren Zustand unabhängig. Es verhalten sich nämlich die gereizten Filamente bei in kurzen Intervallen erfolgender Berührung und gegen Chloroform ganz analog, wie die Gelenke von Mimosa pudica [2].

Erklärung der Abbildungen.

Fig. 1, 2, 3. Schematische, auf die Gelenke von Mimosa pudica bezügliche Figuren. Vergl. Seite 24.

Fig. 4. Parenchymzellen aus dem Gelenke von Mimosa pudica. Man sieht, dass die aus Gerbsäurelösung bestehenden Kugeln in der Zellflüssigkeit (Metaplasma) liegen. Vergr. 510.

Fig. 5. Medianschnitt aus dem Gelenk eines Blattes von Oxalis Acetosella, welches sich ungefähr in halber Tagstellung befand. Vergr. 35.

Fig 6. Ein gleicher Schnitt wie Fig. 5 aus einem auf Reizung völlig eingekrümmten Polster, dessen Ausdehnung durch Schattirung angedeutet ist. Auf der Unterseite sind die Falten jetzt sehr vertieft, auf der Oberseite hingegen fast ganz ausgeglichen. Vergr. 25.

Fig. 7. Querschnitt aus einem Staubfaden von Cynara Scolymus. Vergr. 220.

---

1) Vergleiche diese Arbeit p. 127.

2) Vergl. diese Arbeit p. 57 ff.

Untersuchungen

über

Oeffnen und Schliessen der Blüthen.

Historisches.

Linne[1]), welcher zuerst die Aufmerksamkeit auf das Oeffnen und Schliessen der Blüthen lenkte, unterschied meteorische, tropische und aequinoctiale Blüthen. Das Eröffnen der ersteren soll wesentlich nur durch Beleuchtung und atmosphärische Zustände veranlasst werden, während unter tropischen Blüthen solche verstanden sind, welche sich Morgens öffnen und Abends schliessen, deren Blüthezeit aber mit zunehmenden oder abnehmenden Tagen verkürzt oder verlängert wird; das Oeffnen und Schliessen der äquinoctialen Blüthen endlich soll zu bestimmten Stunden erfolgen. Erst de Candolle[2]) machte auf den Unterschied zwischen den Blüthen aufmerksam, welche nach einmaligem Aufblühen sich schliessen und verwelken (eintägige Blüthen, flores ephemeri) und den sich wiederholt öffnenden Blüthen, die unser Autor als Aequinoctialblumen bezeichnet. Beide, die eintägigen, wie die mehrmals sich öffnenden Blumen, hat Linne bei der Zusammenstellung seiner Blumenuhr verwandt, welcher freilich, wie längst bekannt, nicht entfernt ein so genauer Gang zukommt, wie ihn der Autor zu beanspruchen scheint.

Mag auch der tägliche Beleuchtungswechsel Linne bei Abtrennung der tropischen Blüthen, als eine Ursache des Oeffnens und Schliessens dieser, vorgeschwebt haben, so ist es doch nicht bestimmt ausgesprochen. Die meteorischen Blüthen gehorchen aber keineswegs äusseren Einflüssen in dem Maasse, wie es der grosse Schwede meint, der dieselben, wie nach ihm auch Bierkander zu Wetterpropheten machen wollte.

---

1) Philosophia botanica Stockholm 1551 p. 274.
2) Mémoir d. savans étrang. de l'institut etc. 1806. Bd. I p. 338.

De Candolle[1]) zeigte, dass das Oeffnen mancher Blüthen durch künstliche Beleuchtung beeinflusst wird, wie denn auch Bory d. St. Vincent[2]) und Meyen[3]) späterhin zu einem gleichen Resultate kamen. Dahingegen gesteht de Candolle der Temperatur beim Oeffnen und Schliessen der Blüthen keinen Einfluss zu, während Draparnaud[4]) annahm, dass beim Aufblühen der ephemeren Mirabilis Jalapa Wärme eine wesentliche Rolle spiele.

Die grundlosen Interpretationen Virey's[5]), nach welchen Temperaturabfall und Feuchtigkeit durch Verminderung von Transpiration und Saftzufuhr eine Verengerung der Saftkanäle und hierdurch Schliessen der Blüthen herbeiführe, verdienen keine Beachtung. Auch Caruel's[6]) Annahme, dass Aenderung in der Wasserverdunstung das Oeffnen der Blüthen veranlasse, fehlt jeder Halt und aus den, übrigens unmassgebenden Experimenten dieses Autors mit Mirabilis Jalapa, kann diese Ansicht auch unmöglich folgerichtig abgeleitet werden.

Dutrochet[7]) sucht das Schliessen und Oeffnen der Blüthen, in gleicher Weise wie die Schlaf- und Reizbewegungen anderer Blattorgane, durch Oxygenation eines krümmungsfähigen Fasergewebes, resp. endosmotische Wasseranziehung des Parenchymgewebes zu erklären. Neben dieser verfehlten Idee sind auch die anatomischen Angaben Dutrochet's zum grössten Theil unrichtig.

Das Oeffnen der Blüthen von Galanthus nivalis bei Annäherung einer glühenden Kohle wurde von Hoffmann[8]) beobachtet, der allgemein annimmt, dass Wachen und Schlafen der Blattorgane durch Temperaturzustände veranlasst werde und das Sonnenlicht nur vermöge seiner erwärmenden Kraft in Betracht komme[9]), eine Ansicht, deren

---

1) L. c. und Pflanzenphysiologie übers. von Röper 1835, II p. 28.

2) Annal. gen. d. physique 1819, Bd. I p. 112, citirt nach Link, Element. philosoph. botan. p. 419.

3) Meyen, Pflanzenphysiologie 1839, Bd. III p. 495.

4) Discours sur le moeurs des animaux et de végéteux p. 38, citirt nach de Candolle, Physiologie übers. von Röper II p. 29.

5) Journal d. pharmacie 1831, T. XVII p. 673 ff. — Gleichgültige Angaben anderer Autoren übergehe ich, wie auch den spielenden Vergleich periodischer Pflanzenbewegungen mit dem Schlaf der Thiere, welchem wir in extremster Form bei E. Meyer begegnen (Vorträge aus dem Gebiete d. Naturw. u. d Oeconomie Königsberg 1834).

6) Atti d. l. soc. italiano d. scienc. naturali. Vol. X. Separatabzug.

7) Mémoir. pour servir a l'histoire anatom. et physiol. des vegétaux et des animaux 1837, Bd. I p. 469—496.

8) Annal. d. sc. naturell. 1849, III. Ser. Bd. XIV p. 322. Mir steht nur diese Uebersetzung zu Gebote.

9) L. c. p. 329.

Allgemeinheit wenigstens, durch bekannte Thatsachen über die periodischen Bewegungen der Laubblätter bereits widerlegt ist.

Hofmeister[1]) constatirte, dass bei der Gartentulpe eine Temperatursteigerung eine durch die untere Partie der Perigonzipfel vermittelte Bewegung im Sinne des Oeffnens der Blüthe hervorruft, ein Temperaturabfall aber die umgekehrte Wirkung hat. Auch Randblüthen und Involucralblätter von Taraxacum officinale und anderen Cichoriaceen sollen sich bei Temperaturschwankungen analog verhalten. Die Bewegung der Blüthentheile erklärt Hofmeister[2]) durch Differenzen des Ausdehnungsstrebens antagonistischer Gewebe. Aehnlich ist übrigens die Ansicht von Treviranus[3]), nach welcher die Zellen der basalen Partie an Kelch- und Blumenblättern durch Ausdehnung, resp. Verkürzung auf der einen oder der anderen Seite die Bewegung hervorrufen, welche nach unserem Autor durch Beleuchtungsunterschiede veranlasst werden soll.

Nach Royer[4]) wird durch sinkende Temperatur eine Verkürzung, durch steigende Temperatur umgekehrt eine Verlängerung der inneren Seite der bewegungsfähigen Blüthentheile hervorgerufen, ebenso bewirke zu sehr gesteigerte Transpiration ein partielles oder totales Schliessen der Blüthen, indem die nach Innen gelegenen Gewebepartien der Bewegungszone in Folge sinkender Turgescenz sich verkürzen. Wärme und Turgescenzzustände spricht unser Autor als Ursachen des Oeffnens und Schliessens der Blüthen an, während Licht keinen wesentlichen Einfluss ausüben soll. Die periodischen Bewegungen von Laubblättern würden hingegen nach Royer hauptsächlich durch Beleuchtungswechsel verursacht und deshalb sei Wachen und Schlaf der Blätter von Oeffnen und Schliessen der Blüthen auch wohl zu unterscheiden (p. 377). Uebrigens sollen Blüthen Abends nicht durch Temperatursteigerung zu öffnen sein (p. 349), was indess, wie wir sehen werden, allgemein ausgesprochen, nicht richtig ist.

---

1) Flora 1862 p. 516.
2) Pflanzenzelle p. 299.
3) Physiologie Bd. II. 1838 p. 756.
4) Annal. d. sc. naturell. V. Ser., Bd. IX. 1868 p. 355.

Mechanik der Bewegungen.

Wenn auch Royer die Bewegungen von Blüthenblättern und Laubblättern nicht völlig gleichgestellt wissen will, so bezieht sich diese Trennung doch ganz allein auf die Beeinflussung durch äussere Verhältnisse. Bezüglich der inneren, die Bewegung hervorrufenden Vorgänge ist von allen Autoren Uebereinstimmung für Blüthen- und Laubblätter angenommen, d. h. die periodischen Bewegungen sollen durch abwechselnde Verlängerung, resp. Verkürzung je eines der beiden antagonistischen Gewebecomplexe zu Stande kommen. Unter dieser Voraussetzung habe auch ich das Verhalten des Oeffnens und Schliessens der Blüthen gegen Wärme, Licht u. s. w. verfolgt, und dann erst durch Messungen festgestellt, dass sowohl Oeffnen als Schliessen der Blumen durch gesteigertes Längenwachsthum der entsprechenden antagonistischen Hälfte bewirkt wird, von den auf abwechselnder Verlängerung und Verkürzung von Geweben beruhenden periodischen Bewegungen der Laubblätter also durchaus verschieden ist[1].

Zunächst werde ich die Beweise für das eben bezüglich der Bewegungen der Blumenblätter Gesagte beibringen, um dann die Abhängigkeit des Oeffnens und Schliessens der Blüthen von äusseren Einflüssen zu verfolgen. Hier muss ich indess vorgreifend bemerken, dass manche Blüthen, wie die von Crocus, Tulipa, Colchicum zu jeder Tageszeit durch Steigerung der Temperatur zum Oeffnen und durch Temperaturabfall zum Schliessen zu bringen sind, während auf andere Blüthen gleich nach dem Schliessen oder Oeffnen eine selbst ansehnliche Temperaturschwankung nur in höchst geringem Grade influirt, nach längerer Ruhezeit hingegen die Oeffnung der geschlossenen Blüthen durch Wärmesteigerung und das Schliessen der geöffneten Blüthen durch Temperaturabfall bewirkt werden kann. Die Blüthen von Oxalis, Nymphaea und vieler Compositen gehören hierher.

Vortrefflich geeignet zu Untersuchungen sind die Blüthen von Crocus vernus und luteus, welche schon auf geringe Temperaturschwan-

---

1) Als ich die Abhängigkeit der Blüthenbewegungen von äusseren Verhältnissen auf der Naturforscherversammlung zu Leipzig erörterte, hatte ich die Bewegungen noch nicht als durch Wachsthum verursachte Erscheinungen erkannt. Messungen hatte ich damals nur an sich öffnenden Blüthen vorgenommen, und meine im Tageblatt gemachte Bemerkung (p. 73; vgl. auch Sachs, Lehrbuch III. Aufl. p. 791), dass sich hierbei die Innenseite verlängert, ist ja auch vollkommen richtig. Messungen beim Schliessen der Blüthen führte ich erst späterhin aus, nachdem mir Ueberlegung es nicht unmöglich erscheinen liess, dass Oeffnung und Schliessung durch Wachsthum zu Stande komme.

kungen ansehnlich reagiren. Die Perigonröhre löst sich bekanntlich bei Crocus in zwei dreigliedrige, alternirende Blattkreise auf und eine Strecke über dieser Trennungsstelle liegt die Zone, in welcher hauptsächlich die Bewegungen der Perigonblätter vermittelt werden. Die Länge dieser Bewegungszone ist schon bei äusserlich sich gleichenden Blüthen von Crocus nicht immer dieselbe, wie auch ihre Lage Schwankungen bei verschiedenen Individuen unterworfen ist, übrigens meist in das untere Viertheil oder Sechstheil der Perigonzipfel fällt. Der bewegungsfähige Theil des Perigons ist nach beiden Seiten nicht bestimmt abgegrenzt, indem eine etwa 3 Millim. lange Zone die stärkste Einkrümmung erfährt, welche sowohl nach der Spitze, als nach der Basis des Blumenblattes hin geringer ausfällt. An den geschlossenen Crocusblüthen ist die Bewegungszone gerade oder auch schwach concav oder convex gekrümmt, beim Oeffnen erhält dieselbe aber immer eine nach Aussen (von der Blüthenachse abgewandte) concave Krümmung, die, wie schon bemerkt wurde, an einer Stelle am stärksten ist und von hier aus nach beiden Seiten abnimmt. Die Strecke, welche ohne weiteres noch eine Einkrümmung beim Oeffnen erkennen lässt, wurde bei verschiedenen Crocusblüthen zwischen 6 und 15 Millim. lang gemessen. Erfahren nun auch die ausserhalb der Bewegungszone liegenden Perigontheile beim Oeffnen und Schliessen der Blüthe keine nennenswerthen Veränderungen, so sind diese doch nicht, wenigstens sicher nicht immer vollkommen Null, indem beim Oeffnen mancher Blüthen die Concavität der Perigonblätter sich mindert, auf ein verschiedenes Wachsthum innerer und äusserer Gewebelagen also auch für die obere Partie der Blüthenblätter geschlossen werden kann. Uebrigens habe ich diese geringen Veränderungen bei meinen Untersuchungen ganz ausser Acht gelassen.

Im Wesentlichen gleich wie Crocus verhalten sich die beweglichen Theile mehrblättriger oder tiefgetheilter Blüthen, wenn auch Ausdehnung und Lage der Bewegungszone, sowie deren Gestalt im Oeffnungs- und Schliessungszustand, Abweichungen darbieten, welche mir indess ein näheres Eingehen nicht zu verdienen scheinen. So ist die Bewegungszone z. B. bei geschlossenen Blüthen von Anemone ranunculoides ansehnlich nach Innen concav gekrümmt und bei Oxalis rosea liegt sie in oder über der Mitte der Blüthenblätter.

Auch die anatomischen Verhältnisse sind bei Crocus, Tulipa und anderen sich in ähnlicher Weise öffnenden Blüthen der Hauptsache nach übereinstimmend. Wie die Blüthenblätter überhaupt, ist auch die Bewegungszone aus mehr oder weniger cylindrischen Parenchymzellen mit luftführenden Intercellularräumen gebildet und dieses Gewebe wird

durch eine Anzahl tangential angeordneter Gefässbündel in eine äussere und innere Hälfte getrennt, welche beide von einer meist kleinzelligeren Epidermis begrenzt werden [1].

Zu den Messungen, welche angestellt wurden, um zu entscheiden, ob bei dem Oeffnen und Schliessen der Blüthen ein wirkliches Wachsthum oder nur eine abwechselnde Verlängerung oder Verkürzung der antagonistischen Gewebe stattfindet, diente von den Blüthen, welche auf Temperaturdifferenzen leicht reagiren, vorzüglich Crocus vernus, ausserdem wurden aber auch Tulipa Gesneriana und Colchicum autumnale verwandt. An der krümmungsfähigsten Stelle wurden mit schwarzem Spirituslack Puncte aufgetragen und zwei leicht kenntliche Spitzen oder Ecken an diesen dienten als Messungsmarken an den geschlossenen oder geöffneten Blüthen. Oeffnen oder Schliessen ist bei diesen Blüthen durch Steigerung oder Verminderung der Temperatur leicht herbeizuführen, namentlich bei Crocus, bei dem eine Differenz von 6—7 ° C., wie sie durch Uebertragen aus einem kälteren in ein wärmeres Zimmer leicht zu erreichen ist, gewöhnlich ausreicht, um innerhalb 15 Minuten eine geschlossene Blüthe zum völligen Oeffnen zu bringen, wenn die Wärme gesteigert wurde, oder umgekehrt, eine geöffnete Blüthe zu schliessen, wenn dieselbe in einen kälteren Raum kam. Die Blüthen von Tulipa Gesneriana und Colchicum sind nicht ganz so empfindlich, doch ist auch bei diesen unter gleichen Umständen $1/2$ Stunde meist zum Oeffnen oder Schliessen ausreichend und wenn eine Temperaturdifferenz von 12 ° C. in Anwendung kommt, wird die hervorgerufene Bewegung der Blüthen gewöhnlich in $1/4$ Stunde vollendet sein. Uebrigens habe ich bei meinen Messungen stärkere Temperaturschwankungen als 6 bis 10 ° C. nicht benutzt.

Selbstverständlich wurden sowohl auf Innen- als Aussenseite beim Oeffnen, wie auch beim Schliessen der Blüthen Messungen angestellt, und zwar wählte ich immer die drei äusseren Perigonzipfel, welche sich im Allgemeinen mit etwas grösserer Amplitude als die inneren bewegen. Die Messungen auf der Aussenseite können gleichzeitig an allen drei Zipfeln vorgenommen werden, um indess auf der Innenseite zu messen, ist natürlich die Entfernung einiger Perigonzipfel nothwendig. In allen Fällen operirte ich mit abgeschnittenen Blüthen, welche

---

1) Bei Crocus ist in der Bewegungszone das zwischen Epidermis und Gefässbündel liegende Parenchym nach der Innenseite zu durchschnittlich um eine Zelllage mächtiger, als nach der Aussenseite. Bei Tulpenblüthen verhält es sich aber gerade umgekehrt.

in Wasser gestellt und in einem feuchten Raume gehalten wurden. Zu den Messungen diente mir ein aus einem aplanatischen Ocular und einer durch Mikrometerschraube beweglichen Glastheilung zusammengesetztes Ocularmikrometer, welches vermöge seines grossen Gesichtsfeldes noch bei 80facher Vergrösserung Strecken von etwas über 1,6 Millim. zu messen gestattete. Ein Theilstrich des Mikrometers entspricht 0,0076 Millim.

Crocus vernus.

I. Messungen vor und nach dem Oeffnen der Blüthen.

Geschlossen		Geöffnet		
214	Strich	214	Strich	Auf der Aussenseite gemessen.
217	»	218	»	
187,5	»	188	»	
209,5	»	210	»	
196	»	196	»	
214,5	»	220	»	Auf der Innenseite gemessen.
181	»	185	»	
208	»	210,5	»	
205	»	212	»	
191,5	»	196,5	»	

II. Messungen vor und nach dem Schliessen der Blüthen.

Geöffnet		Geschlossen		
207	Strich	211	Strich	Auf der Aussenseite gemessen.
203	»	207	»	
205	»	212,5	»	
206,5	»	213	»	
174	»	178,5	»	
194,5	»	194,5	»	Auf der Innenseite gemessen.
216	»	215,5	»	
202	»	203	»	
171	,	172	»	
218	»	218	»	

An den geschlossenen Blüthen war die Bewegungszone gewöhnlich annähernd gerade, an den geöffneten zwischen 15 bis 30 Millim. concav nach Aussen gekrümmt.

Tulipa Gesneriana.

I. Messungen vor und nach dem Oeffnen der Blüthen.

Geschlossen	Geöffnet	
183 Strich	183 Strich	Auf der Aussenseite gemessen.
215 »	215,5 »	
201 »	202 »	
198 »	204 »	Auf der Innenseite gemessen.
182 »	186,5 »	
203,5 »	209 »	

II. Messungen vor und nach dem Schliessen der Blüthe.

Geöffnet	Geschlossen	
187,5 Strich	193 Strich	Auf der Aussenseite gemessen.
205 »	210,5 »	
202 »	205,5 »	
217 »	218 »	Auf der Innenseite gemessen.
204,5 »	204 »	
193 »	193 »	

Die Bewegungszone der Blüthen war bei den angewandten Objecten im geschlossenen Zustand etwas concav, etwa bis zu 30 Millim. Radius nach Innen gekrümmt und im geöffneten Zustand etwa eben so stark, oder etwas weniger concav nach Aussen gebogen.

Ein entsprechendes Resultat ergaben auch die Blüthen von Colchicum autumnale. Beim Oeffnen wurde für die Innenseite eine Verlängerung um 2 bis 4 Striche (bei Ablesung von 180—210 Strich) gefunden, während die Aussenseite keine merkliche Zunahme erfuhr. Beim Schliessen hingegen war das Resultat, wie auch bei Crocus und Tulipa, gerade umgekehrt.

Die obigen Zahlen zeigen schlagend, dass immer diejenige Seite der die Bewegung vermittelnden Zone, nach welcher hin die Bewegung erfolgt, keine merkliche Verlängerung erfährt, die andere Seite indess an Länge zunimmt. Wir haben es hier also, wie ich schon bemerkte, nicht mit einer abwechselnden Verlängerung oder Verkürzung, sondern mit einer Längenzunahme, die nicht wieder rückgängig gemacht wird, d. h. mit einem factischen Wachsthum zu thun.

Die gemessenen Verlängerungen entsprechen auch ganz den Grössen, welche wir erwarten dürfen. Bei den angewandten Crocusblüthen

schwankte die Dicke an der Mittelrippe, in deren nächster Nähe die Marken immer angebracht waren, meist zwischen 0,3 und 0,5 Millim. Wenn aber ein gerader, 0,5 Millim. dicker Streif sich derart krümmt, dass die concave Seite ihre Länge nicht verändert, so wird bei einem Krümmungsradius von 30 Millim. die Verlängerung der Aussenseite 1,67 Proc., bei einem Krümmungsradius von 20 Millim. 2,5 Proc. und bei 15 Millim. Krümmungsradius 3,3 Proc. ausmachen. Würde der Streif nur 0,3 Millim. dick sein, so betrüge die Verlängerung der Convexseite bei Krümmung zu 20 Millim. Radius 1,5 Proc. Als maximale Verlängerung wurden nahezu 3,7 Procent (205 zu 212,5 Strich), als minimale Verlängerung 1,2 Procent (208 zu 210,5 Strich) gefunden. Für die Blüthen von Tulipa und Colchicum ergiebt sich in gleicher Weise eine durchaus zufriedenstellende Uebereinstimmung zwischen berechneter und factisch gemessener Verlängerung.

Es muss hier noch darauf hingewiesen werden, dass aus der Messung der Sehne an den eingekrümmten Blüthenblättern ein bemerkenswerther Fehler bei den oben angeführten Versuchen nicht entspringt. Die gemessene Linie war in keinem Falle länger als 1,65 Millim., meist ein wenig kürzer als 1,6 Millim. Zu einer Sehne von 1,6 Millim. gehört aber bei einem Krümmungsradius von 15 Millim., welcher niemals überschritten wurde, ein Bogen von 1,6008 Millim. Länge, d. h. bei meinen Mikrometermessungen, bei denen ein Theilstrich 0,0076 Millim. entspricht, ist die Sehne bei dem in's Auge gefassten Falle um den neunten Theil eines Striches, also um eine durchaus verschwindende Grösse kürzer als der zugehörige Bogen. Für genügende Genauigkeit meiner Messungen sprechen schon die mitgetheilten Zahlen, doch will ich hier noch bemerken, dass bei Messungen an unveränderlichen Objecten die an den angebrachten Lackmarken abgelesenen Werthe nur um $^1/_2$ Theilstrich vom Mittelwerth abwichen, auch wenn das fragliche Object wiederholt aus seiner Lage gebracht und von Neuem wieder eingestellt wurde. Die Festhaltung der Messungspuncte geschah auch hier, wie ich es schon früher bei den Untersuchungen über Reizbewegung mittheilte, durch Aufzeichnen der Lackmarken, ein Verfahren, welches bei einiger Uebung absolute Gewissheit für jedesmalige Einstellung derselben Puncte gewährt.

Andere Blüthen reagiren, wie schon mitgetheilt wurde, kürzere Zeit nach dem Oeffnen oder Schliessen fast gar nicht auf Temperaturschwankungen. Des Morgens beschleunigt hier aber eine Temperatursteigerung, wie auch Beleuchtung, das Oeffnen der Blüthen, während umgekehrt durch Temperaturabfall und Verfinsterung gegen Abend das Schliessen in kürzerer Zeit herbeigeführt werden kann. So lassen sich

denn auch hier Messungen auf den beiden antagonistischen Seiten der Bewegungszone, des Morgens an den sich öffnenden, des Abends an den sich schliessenden Blüthen, in der vorhin beschriebenen Weise vornehmen. Des Morgens wurden die Blüthen in einem kalten und halbdunkeln Zimmer präparirt und nach der ersten Messung sofort in einen um 8 bis 10° C. wärmeren Raum an's Licht gebracht, des Abends wurde gerade umgekehrt das Schliessen durch Temperaturabfall und Verfinsterung hervorgerufen. Nimmt man diese Operationen gegen die Zeit vor, um welche sich die Blüthen ohnehin zu öffnen oder zu schliessen pflegen, so ist, wenigstens an den von mir untersuchten Blüthen, Oeffnen oder Schliessen gewöhnlich nach $^1/_2$ bis $^3/_4$ Stunden vollendet.

Meine Versuche wurden hauptsächlich mit den Blüthen einiger Compositen, ausserdem auch mit denen von Oxalis valdiviana hort. vorgenommen. Für letztere Pflanze schliesst sich die Ausführung ganz dem bei Crocus Gesagten an, doch konnten hier die Messungen aus gleich anzuführenden Gründen nur geringere Längenzunahme der gefördert wachsenden Seite ergeben, während die Verlängerung bei manchen Compositen eine sehr ansehnliche ist. Bei unserer Oxalis, wie auch bei manchen anderen Arten, liegt die vorzüglich die Bewegung vermittelnde Zone etwa in der Mitte der Blumenblätter, welche im geschlossenen Zustand ziemlich gerade sind, beim Oeffnen sich aber derart nach Aussen concav krümmen, dass die obere Hälfte der fünf Blumenblätter radförmig ausgebreitet oder gar etwas zurückgebogen ist. Die Einkrümmung der Bewegungszone kann hierbei bis zu 4 Millim. Radius fortschreiten, die Verlängerung der convex werdenden Innenseite ist aber bei der geringen Dicke der Bewegungszone eine nur mässige. Bei der Einkrümmung eines geraden Streifens von $^1/_{10}$ Millim. Dicke zu einem Radius von 4 Millim. wird sich die convex werdende Seite um 2,5 Procent verlängern, wenn die concave Seite gleiche Länge behält; die Bewegungszone der Oxalisblüthen ist aber auch in der Gegend der Mittelrippe nicht dicker als $^1/_{10}$ Millimeter. Bei so ansehnlicher Einkrümmung darf natürlich die gemessene Sehne nicht zu lang sein, wenn nicht ein bemerkenswerther Fehler entstehen soll, der übrigens bei Messung einer Strecke von 0,8 Millim. durchaus verschwindet. Denn zu einer Sehne von dieser Länge gehört bei 5 Millim. Krümmungsradius ein Bogen von 0,80087 Millim., ein Theilstrich des zu diesen Messungen angewandten beweglichen Ocularmikrometers entsprach aber bei 80facher Vergrösserung 0,00885 Millim. und die gemessenen Strecken waren 0,8 bis 0,9 Millim. lang. Das ein grösseres Gesichtsfeld gebende und die Messung längerer Strecken erlaubende Mikrometer

mit aplanatischem Ocular, dessen vorhin Erwähnung geschah, stand mir zur Zeit der Ausführung dieser Versuche noch nicht zu Gebote. Mit diesem würde allerdings eine ansehnlichere Verlängerung gefunden worden sein, da die Messung einer etwa 0,8 Millim. langen Strecke bei stärkerer Vergrösserung möglich gewesen wäre.

Die Messungen, von welchen ich hier einige beliebig herausgegriffene mittheile, zeigen übrigens doch mit Sicherheit, dass ein gefördertes Wachsthum der Innenseite der Bewegungszone das Oeffnen und umgekehrt ein Wachsthum der Aussenseite das Schliessen der Blüthen hervorruft. Bemerkt sei hier noch, dass die Messungen an sich öffnenden Blüthen zwischen 8 und 9 Uhr Morgens, an sich schliessenden zwischen 3 und 4 Uhr Nachmittags vorgenommen sind.

Oxalis.

I. Messungen beim Oeffnen der Blüthen.

Geschlossen	Geöffnet	
92 Strich	92 Strich	Auf Aussenseite gemessen.
94,5 »	95 »	
96 »	98 »	Auf Innenseite gemessen.
87 »	88,5 »	

II. Messungen beim Schliessen der Blüthen.

Geöffnet	Geschlossen	
95,5 Strich	97 Strich	Auf Aussenseite gemessen.
89 »	91,5 »	
99 »	99,5 »	Auf Innenseite gemessen.
102 »	101,5 »	

Unter den Compositen führen die sämmtlichen Zungenblüthen der Köpfchen der Cichoriaceen Bewegungen aus, sofern die Blüthezeit länger als einen Tag dauert. Von den andern Compositen hat indess nur ein Theil bewegungsfähige Blüthen und zwar verhalten sich hier nicht selten näher stehende Pflanzen verschieden. Bei dem Tribus der Radiaten sind es aber, soweit mir bekannt, immer nur die Strahlenblüthen, welche Bewegungen ausführen. Die bewegungsfähige Zone liegt nun entweder in der Röhre der Zungenblüthen, wie bei Taraxacum officinale, Leontodon hastilis, Crepis, Hieracium u. a., oder unmittelbar oberhalb dieser, wie es bei Calendula, Bellis, Venidium u. a. der Fall ist.

Von den Blüthen, bei denen die Bewegungszone in der Röhre selbst liegt, habe ich hauptsächlich Taraxacum officinale und Leontodon hastilis zu Messungen verwandt. Die Blüthenröhre ist bei Leontodon hastilis durchschnittlich etwas länger als bei Taraxacum offic., wo sie gewöhnlich zwischen 4 bis 7 Millim. misst, bei beiden Pflanzen übrigens in ihrer ganzen Länge beugungsfähig, doch vorwiegend in einer mittleren Zone. In geschlossenen Köpfchen sind die Röhren der Blüthen concav nach Innen gekrümmt, wenigstens die der Randblüthen, welchen, wie leicht begreiflich, die grösste Bewegungsamplitude zukommt. Die Röhren der in der Mitte des Köpfchens stehenden Blüthen können auch gerade gestreckt sein, nach dem Oeffnen sind aber die Röhren aller Blüthen concav nach Aussen gekrümmt. Wird bei den genannten Blüthen die Bewegung hauptsächlich durch die Röhre vermittelt, so ist die Lamina doch nicht ganz unbetheiligt und es ist bei Aufmerksamkeit nicht schwer zu bemerken, dass dieselbe, namentlich in ihrem unteren Theile beim Schliessen sich ein wenig nach Innen zu concav, beim Oeffnen hingegen sich etwas nach Aussen krümmt. Griffel und Staubgefässe führen aber nur die ihnen durch Beugung der Röhre aufgedrängte Bewegung aus.

Von den Compositen, bei denen die Bewegung durch eine der Lamina zugehörige Zone vermittelt wird, dienten mir hauptsächlich die Blüthen von Venidium calendulacea als Versuchsobjecte, nebenbei wurde auch Calendula officinalis verwandt, welche sich der Behaarung halber weniger gut eignet, während bei Venidium nur vereinzelte Haare auf der Aussenseite der Bewegungszone vorkommen. In der etwa nur 1 Millim. langen Röhre der Strahlenblüthen von Venidium findet keine merkliche Beugung beim Oeffnen und Schliessen statt, unmittelbar oberhalb dieser Röhre aber beginnt die bewegungsfähige Zone, welche sich über ein etwa 2 Millim. langes Stück der Lamina erstreckt, jedoch so, dass in der mittleren Partie die intensivste Krümmung stattfindet. Im geschlossenen Zustand sind die Strahlenblüthen parallel der Längsachse der Blüthenköpfchen gerichtet oder neigen in einem spitzen Winkel zusammen. Die Bewegungszone macht dann mit der Röhre ein nach Aussen gebogenes Knie, so dass die ganze Blüthe eine bajonettförmige Gestalt annimmt. Im geöffneten Zustand ist die Lamina mehr oder weniger horizontal ausgebreitet und bildet nun mit der Röhre einen Winkel, der bis zu 90 Grad betragen kann. Bei der Kürze der Bewegungszone ist deshalb die Einkrümmung in dieser eine sehr ansehnliche, gewöhnlich bis zu einem Radius von 2 bis 4 Millim. fortschreitende.

Bei Calendula officinalis, wie auch bei Bellis perennis bilden Röhre und Saum im geschlossenen Zustande eine gerade Linie, übrigens verhält es sich bei diesen Blüthen ganz ähnlich wie bei Venidium, doch nimmt bei Calendula die ein klein wenig längere Röhre, wenn auch nur in sehr geringem Grade, an der Bewegung Theil.

In der Röhre von Taraxacum und Leontodon hastilis finden sich 10 Gefässbündel zu je zwei radial hintereinander gestellt, von denen die 5 äusseren in die Lamina, die anderen in die Staubfäden ihren Lauf nehmen. Bei Venidium kommen gewöhnlich nur 4 Gefässbündel in der Röhre der nur weiblichen Strahlenblüthen vor, bei Bellis finden sich sogar meist nur 3, ausnahmsweise wohl auch nur 2 Gefässbündel und ebenso gross als in der Röhre ist auch die Zahl der Gefässbündel, welche die Lamina durchziehen. In der Bewegungszone von Venidium sowohl, als auch in der übrigen Lamina liegen die Bündel zwischen cylindrischen Parenchymzellen mit luftführenden Intercellularen und sind beiderseits durch ungefähr gleich mächtige Parenchymschichten von der Epidermis getrennt. Auch bei Taraxacum und Leontodon ist der anatomische Bau der äusseren und inneren Röhrenhälfte ähnlich, wie in der Bewegungszone von Venidium und Calendula.

Ueber die Ausführung der Versuche habe ich hier noch zu bemerken, dass aus dem Blüthenboden Lamellen herausgeschnitten und an diesen alle Blüthen bis auf die der Messung zu unterwerfende entfernt wurden. Die herausgeschnittenen Stücke des Blüthenbodens wurden zwischen nasse Torfstücke an auf Objectträgern geklebten Korkstücken mit Hülfe von Nadeln befestigt. Bezüglich der sonstigen Technik des Versuches verweise ich auf das schon Mitgetheilte; bemerkt mag noch werden, dass ein vorhandener Pappus entfernt wurde.

Taraxacum officinale.

I. Messungen vor und nach dem Oeffnen der Blüthen.

(Ein Theilstrich ist hier, wie bei allen folgenden Messungen = 0,00885 Millim., alle Messungen sind bei 80 facher Vergrösserung angestellt.)

Geschlossen		Geöffnet		
96	Strich	96	Strich	Auf Aussenseite gemessen.
79	»	79,5	»	
100	»	101	»	
99	»	99,5	»	
89	»	89	»	

Geschlossen	Geöffnet	
89 Strich	96 Strich	Auf Innenseite gemessen.
87,5 »	96,5 »	
69 »	75 »	
93 »	104 »	
74,5 »	85 »	

II. Messungen vor und nach dem Schliessen der Blüthen.

Geöffnet	Geschlossen	
86 Strich	93 Strich	Auf Aussenseite gemessen.
90 »	102 »	
77 »	81 »	
82 »	89 »	
93 »	103 »	
93,5 »	93 »	Auf Innenseite gemessen.
101 »	101,5 »	
85,5 »	86,5 »	
90 »	89,5 »	
96 »	97 »	

Die Blüthen waren geschlossen sämmtlich ein wenig concav nach Innen, geöffnet aber mit Radien von ungefähr 5—20 Millim. concav nach Aussen gekrümmt.

Leontodon hastilis.

I. Messungen vor und nach dem Oeffnen der Blüthen.

Geschlossen	Geöffnet	
99,5 Strich	100 Strich	Auf Aussenseite gemessen.
88 »	89 »	
101 »	101 »	
87 »	91 »	Auf Innenseite gemessen.
101 »	107 »	
89,5 »	95 »	

II. Messungen vor und nach dem Schliessen der Blüthen.

Geöffnet	Geschlossen	
97,5 Strich	103 Strich	Auf Aussenseite gemessen.
73 »	78,5 »	
82,5 »	87 »	

Geöffnet	Geschlossen	
88 Strich	88,5 Strich	Auf Innenseite gemessen.
101 »	101 »	
93 »	94 »	

Die Röhre der geschlossenen Blüthen war sehr wenig concav nach Innen oder gerade, an den geöffneten Blüthen aber war die Röhre mit einem Radius von 15 bis 30 Millim. concav nach Aussen gekrümmt.

Venidium calendulacea.

I. Messungen vor und nach dem Oeffnen der Blüthen.

Geschlossen	Geöffnet	
95 Strich	95 Strich	Auf Aussenseite gemessen.
86 »	85,5 »	
65 »	65 »	
93 »	92,5 »	
67 »	71 »	Auf Innenseite gemessen.
98 »	102,5 »	
81 »	84 »	
87,5 »	90 »	

II. Messungen vor und nach dem Schliessen der Blüthen.

Geöffnet	Geschlossen	
57 Strich	60,5 Strich	Auf Aussenseite gemessen.
91 »	93,5 »	
72 »	77 »	
98 »	102,5 »	
66,5 »	66,5 »	Auf Innenseite gemessen.
81,5 »	81 »	
76 »	75,5 »	
91 »	91 »	

Auch hier zeigen die Messungen schlagend, dass Oeffnen und Schliessen dieser Blüthen durch Wachsthum eines antagonistischen Gewebecomplexes hervorgebracht wird. Bezüglich der Genauigkeit der Messungen an sich wurde schon das Nöthige gesagt, auch habe ich bereits bei den Messungen an Oxalisblüthen bemerkt, dass die Längendifferenz zwischen der Sehne und einem Bogen von 5 Millim. Radius bei Messung 0,8 Millim. langer Strecken nur den zehnten Theil eines Theilstrichs unseres Mikrometers, also eine durchaus verschwindende

Grösse ausmacht. Bei Taraxacum officinale und noch weniger bei Leontodon hastilis kam übrigens eine stärkere Krümmung als bis zu 5 Millim. Radius niemals vor, während bei Venidium allerdings Krümmungen bis zu 2 Millim. Radius beobachtet wurden. Aber selbst in diesem Falle gehört zu einer 0,8 Millim. langen Sehne ein Bogen von nur 0,80543 Millim. und es würde also eine Verkürzung um etwas mehr als um einen halben Theilstrich unseres Mikrometers (1 Strich = 0,00885 Millim.) eintreten. Meist sind aber bei Venidium etwas kürzere Strecken als 0,8 Millim. gemessen, und der Umstand, dass hier auf der nicht gefördert wachsenden Seite häufiger als an den anderen Objecten eine Verkürzung um 0,5 Theilstrich abgelesen wurde, kann nur zu Gunsten meiner Messungen sprechen.

Bei Taraxacum, Leontodon und anderen Compositen deren Röhre sich einkrümmt, erfährt entweder die innere oder die äussere Hälfte der Röhre eine entsprechende Verlängerung, während bei Venidium und anderen Compositen, so wie bei Crocus, Tulipa u. s. w. die Krümmung auf einseitig gefördertem Wachsthum in unmittelbarem Verbande stehender antagonistischer Zellcomplexe beruht. Die factisch gemessenen Verlängerungen bewegen sich aber in allen Fällen innerhalb der Werthe, die wir unter den obwaltenden Verhältnissen erwarten können. Bei Taraxacum officinale ist die Blüthenröhre an der beugungsfähigsten mittleren Partie meist annähernd 0,5 Millim. dick. Wenn ein gerader Cylinder bei unveränderter Länge der concav werdenden Seite sich einkrümmt und seinen Durchmesser nicht verändert, so muss die stärkste Verlängerung auf der convex werdenden Seite bei 10 Millim. Radius 5 Proc., bei 5 Millim. Radius 10 Procent betragen. Würde der Durchmesser 0,7 Millim. messen, was auch vorkommt, so würde die Verlängerung bei Krümmung zu 5 Millim. Radius 14 Proc. ausmachen; die thatsächlich gemessene ansehnlichste Längenzunahme betrug 14,1 Procent (74,5 auf 85 Strich). Bei Leontodon hastilis sind die gemessenen Längenzunahmen im Allgemeinen etwas geringer als bei Taraxacum, hier ist aber auch die Krümmung auf eine längere Röhre vertheilt und durchgehends geringer, während der Durchmesser der Röhre im Durchschnitt nur unbedeutend grösser als bei Taraxacum ist.

Die Dicke der beugungsfähigsten Stelle mag an den benutzten Blüthen von Venidium meist zwischen 0,15 bis 0,2 Millim. betragen haben. Die Einkrümmung eines geraden Streifens zu 3 Millim. Radius würde bei einer Dicke von 0,15 Millim. eine Verlängerung der convexen Seite um 5 Procent, bei einer Dicke von 0,2 Millim. eine Längenzunahme von 7,5 Procent erfordern. Die grösste gemessene Längenzu-

nahme (72 auf 77 Strich) beträgt 6,5 Procent. Diese Auseinandersetzungen sollten indess nur im Allgemeinen zeigen, dass die gefundenen und berechneten Werthe nicht in Widerspruch stehen. Um die auf den beiden Wegen erhaltenen Zahlen unmittelbar miteinander zu vergleichen, hätte eine genaue Bestimmung der Dicke und des Krümmungsradius an der mit Marken versehenen Partie eines Objectes vorgenommen werden müssen, was indess bezüglich des Krümmungsradius auf erhebliche Schwierigkeiten stossen würde, da die Krümmung von einem Maximum aus nach beiden Seiten hin abnimmt. Eine genaue Berechnung der Krümmung wäre auch in unserem Falle rein überflüssig. Bei den durch Messung gefundenen Zahlen ist aber im Auge zu behalten, dass dieselben nicht immer das thatsächlich an einem Object stattgefundene intensivste Längenwachsthum anzeigen, indem die Marken, wenn sie auch möglichst genau in der krümmungsfähigsten Zone angebracht waren, doch nicht jedesmal die gerade am stärksten wachsende Partie in sich einschlossen.

Es ist nach dem bereits Mitgetheilten leicht einzusehen, dass die Verlängerungen beim Oeffnen und Schliessen der Blüthen ansehnlich genug sein können, um schon bei Zirkelmessungen bemerkbar zu werden, wie solche mit Hülfe von genau einstellbaren Zirkeln ausführbar sind. Freilich müssen zu dem Ende grössere Strecken gemessen werden und wird hierbei dann natürlich die Längendifferenz zwischen Sehne und zugehörigem Bogen in's Gewicht fallen. So findet man z. B. bei Messung von etwa 6 Millim. langen Stücken an den Röhren der geöffneten Blüthen von Taraxacum eine Verkürzung der concav gewordenen Seite, welche bis zu 0,4 Millim. steigen, während die convex gewordene Seite sich gleichzeitig um 0,2 bis 0,3 Millim. verlängern kann. Selbst bei den Blüthen von Crocus ist es noch möglich in solcher Weise die Verlängerung der Innenseite beim Oeffnen der Perigonblätter festzustellen. Da indess die Berechnung der wirklichen Verlängerung aus der gemessenen Sehne, der nicht gleichförmigen Krümmung der bewegungsfähigen Theile halber, mit grösserer Genauigkeit nicht wohl möglich ist und die mikrometrischen Messungen ohnedies ungleich genauer sind, so will ich mich hier mit dem einfachen Hinweis auf solche Zirkelmessungen begnügen.

Bei einiger Vorsicht gelingt es an der Bewegungszone von Crocusblüthen die Epidermis einer Seite mit ein bis zwei anhängenden Parenchymschichten abzuziehen und festzustellen, dass nun durch Temperaturschwankungen ganz gleichsinnige Bewegungen wie zuvor hervorgerufen werden. Nach Entfernung der negativ gespannten Epidermis

krümmt sich natürlich die Bewegungszone sehr ansehnlich concav nach der nicht operirten Seite und bei Einlegen in Wasser findet eine vollkommene kreisförmige Einrollung statt, zugleich ist dann auch die Bewegungsfähigkeit, wahrscheinlich der Anfüllung der Intercellularräume mit Wasser halber, vernichtet. Hält man die operirten Objecte in feuchter Luft, so schreitet zwar die Einkrümmung noch längere Zeit langsam fort, doch kann man unschwer dabei nachweisen, dass eine Temperaturschwankung von 10° C. Bewegung bis zu 20° hervorruft und zwar eine Schliessungsbewegung bei Senkung, eine Oeffnungsbewegung bei Steigerung der Temperatur. Bezüglich der Ausführung der Versuche sei nur erwähnt, dass die Operation an Perigonzipfeln möglichst kräftiger Blüthen nach Entfernung der dünneren Seitenränder vorgenommen wurden. An diesen Längsstreifen wurde dann dicht über der operirten Bewegungszone ein ganz leichter Silberdraht mit Lack befestigt, welcher als Index auf einem in geeigneter Weise angebrachten Gradbogen diente. Wird die Epidermis der Innenseite entfernt, dann müssen natürlich, weil sich der operirte Zipfel gegen die Blüthenachse hin krümmt, die anderen Perigonzipfel der Blüthe weggeschnitten werden.

Auch nach Entfernung der Epidermis (mit dem anhängenden Parenchym) auf beiden Seiten der Bewegungszone konnten doch im günstigsten Falle Bewegungen bis zu 15 Grad durch Temperaturschwankungen hervorgerufen werden, die also allein durch entsprechendes Wachsthum der Parenchymschichten veranlasst wurden. Ob nun die Epidermis der Innenseite beim Oeffnen und die der Aussenseite beim Schliessen der Blüthen überhaupt ein actives Wachsthum ausführt, lässt sich nach meinen Versuchen nicht sagen. Am wahrscheinlichsten muss es aber jedenfalls erscheinen, dass das Wachsthum der Epidermis zum guten Theil durch die in Folge des Wachsthums des Parenchyms zu Stande kommende passive Dehnung veranlasst wird.

Wurde die eine antagonistische Hälfte der Bewegungszone möglichst genau bis auf das Parenchym abgetragen, so war es mir nicht möglich eine auf Temperaturschwankungen erfolgende Bewegung mit Sicherheit festzustellen, doch darf man auf dieses negative Resultat leider kein besonderes Gewicht legen, weil durch die Entfernung einer relativ so ansehnlichen Gewebemasse die Wachsthumsfähigkeit der zurückbleibenden Gewebe allzusehr beeinträchtigt werden kann und dieses um so mehr, als die zartwandigen Parenchymzellen leicht ihren Turgor einbüssen. Wäre das Resultat dieser Versuche zweifellos, so würde damit endgültig entschieden sein, dass jedesmal nur einer der antagonistischen Gewebecomplexe durch Temperaturschwankung zu be-

schleunigtem Wachsthum angeregt wird. Wenn uns unsere, auf der Epidermis angestellten Messungen zeigen, dass nur eine Seite der Bewegungszone sich bei der Krümmung verlängert, so ist klar, dass eine jede Gewebezone eine Längenzunahme erfährt, welche um so geringer ist, je näher sich diese Zone der auf gleicher Länge verharrenden Epidermis befindet und dass natürlich auch eine jede Zelle auf der der wachsenden antagonistischen Hälfte zugekehrten Seite stärker, als auf der abgewandten Seite sich verlängert. Allein diese ungleichseitige Verlängerung der Zellen sowohl, als die Längenzunahme in der nicht beschleunigt wachsenden Gewebehälfte, kann eine einfache Folge der passiven Dehnung sein, welche durch die Krümmung veranlasst ist, die durch Wachsthum einer antagonistischen Hälfte hervorgebracht wird. Durch die zunächst rein passive Dehnung wird dann aber ein wirkliches Wachsthum der entsprechenden Zellen veranlasst werden, wie dieses überhaupt durch eine gewaltsame Verlängerung dehnbarer, aber wenig elastischer Zellmembranen, wie Sachs[1]) jüngst zeigte, geschieht. In der That müssen wir uns aus anderen Gründen, auf die ich erst später zurückkomme, dahin entscheiden, dass jedesmal nur eine antagonistische Hälfte wirklich beschleunigt wächst und das Wachsthum in den angrenzenden Zellen der anderen Hälfte eine Folge der passiven Dehnung ist.

Bei denjenigen Compositen, bei welchen die Blüthenröhre die Einkrümmung vermittelt, stossen wir auf den eben erörterten ähnliche Fragen. Krümmt sich eine solche Blüthenröhre und erfährt die Epidermis der concaven Seite keine Verlängerung, so müssen natürlich die mehr nach Innen zu gelegenen Zellen dieser Hälfte sich um so mehr verlängern, je weiter sie von der Epidermis entfernt sind. Es braucht auch hier diese Verlängerung nur Folge der durch die Einkrümmung hervorgerufenen passiven Dehnung zu sein; es könnte aber auch in dieser antagonistischen Röhrenhälfte ein actives stärkeres Wachsthum der von der Epidermis ferneren Zellcomplexe durch die gleichen Ursachen hervorgerufen werden, welche die Bewegung der Blüthen überhaupt veranlassen. Dieselben Betrachtungen lassen sich natürlich in ganz analoger Weise auf die äussere Röhrenhälfte ausdehnen.

Die eben erörterten Puncte direct durch Versuche zu entscheiden, gelang mir mit Taraxacum officinale und Leontodon hastilis nicht. Spaltet man nämlich die Blüthenröhre in eine äussere und innere Längshälfte, so sinkt der Turgor, auch im dampfgesättigten Raume, zu schnell, um die Ausführung entscheidender Experimente zu erlauben, in Wasser

1) Lehrbuch III. Aufl. p. 689.

getaucht geht aber die Bewegungsfähigkeit verloren. Dagegen lässt sich bestimmt zeigen, dass die einzelnen Gewebeschichten der beiden antagonistischen Hälften ein der Einkrümmung entsprechendes factisches Wachsthum erfahren. Trennt man die beiden antagonistischen Hälften einer geraden Blüthenröhre der oben genannten Compositen durch einen Längsspalt, so biegen sie sich gleich nach dem Einschneiden in mässiger Weise convex gegen einander. Wird eine gleiche Trennung an eben eingekrümmten Blüthenröhren vorgenommen, so wird die concave Seite stärker concav, und die Krümmung der convexen nimmt in etwa gleichem Maasse ab, das totale Auseinanderweichen aber ist nicht ansehnlicher als an gerade gestreckten Blüthenröhren. Dadurch ist aber das eben Gesagte erwiesen; denn wäre z. B. die concav werdende Seite einfach wie ein elastischer Körper gekrümmt worden, so hätte bei ihrer Abtrennung von eben gekrümmten Blüthenröhren die Concavität derselben nicht noch zunehmen können, da diese schon an der gekrümmten Blüthenröhre ansehnlicher ist, als sie bei Spaltung gerader Blüthenröhren wird. Wir sehen also, dass die der concaven Aussenseite ferneren Schichten stärker wuchsen. Es ist übrigens nöthig, dass man die Beugungen sogleich nach Trennung der beiden Hälften beachtet, denn bald darauf beginnen diese sich concav gegen einander zu biegen. Dieses geschieht durch Verminderung des Turgors, wie sich durch das hier nicht näher zu erörternde Verhalten beim Einlegen in Wasser leicht nachweisen lässt.

Das Wachsthum der bewegungsfähigen Zone steht keineswegs vollkommen still, wenn die Blüthen keine Bewegungen ausführen, schreitet vielmehr langsam und gleichmässig in beiden antagonistischen Hälften fort, und kann eben in einer dieser durch bestimmte Verhältnisse in auffallender Weise beschleunigt und so die Bewegung veranlasst werden. An Blüthenröhren von Taraxacum offic. und Leontodon hastilis fand ich zwischen 9 Uhr Morgens und 3 Uhr Nachmittags eine Längenzunahme zwischen 1 bis 4 Procent, obgleich die Blüthen in dieser Zeit keine merklichen Bewegungen ausgeführt hatten. Diese mikrometrischen Messungen wurden an Randblüthen nach Entfernung der hindernden Blättchen des Hüllkelches ausgeführt. Die Wachsthumsfähigkeit der Bewegungszone ist übrigens in verschiedenen Entwicklungsphasen der Blüthen eine ungleiche. Es ist dieses daraus zu entnehmen, dass unter gleichen Bedingungen die Bewegungsamplitude der Blüthen unmittelbar nach der Entfaltung geringer ist, als einige Zeit später, um dann mit dem Alter wieder auf ein kleineres Maass zurückzugehen. Voraussichtlich wird bei den Blüthen, wie bei anderen wachsenden Organen,

die Wachsthumsintensität bis zu einem Maximum steigen, um dann allmälig wieder abzunehmen [1]).

Die eben erwähnten Puncte habe ich keiner speciellen Prüfung unterworfen, wie ich auch nicht festzustellen suchte, ob das Wachsthum der Bewegungszone ausschliesslich durch Zellstreckung oder auch durch Zelltheilung zu Stande kommt. Jedenfalls spielt aber die Zellstreckung eine sehr wesentliche Rolle, wie an den Blüthen von Leontodon hastilis vorgenommene Messungen zeigen. Unmittelbar nach dem Aufblühen wurde an einigen Randblüthen eines Köpfchens von Leontodon hastilis in der mittleren Partie der Röhre die Länge der Epidermiszellen in 24 Messungen im Mittel zu 18 Theilstrichen gefunden (gemessene Extreme sind 10 und 27 Theilstriche, à 0,0045 Millim.). Als nach 4 Tagen die Randblüthen desselben Köpfchens dem Verwelken entgegengingen, ergab eine gleiche Anzahl in derselben Zone der Röhre vorgenommener Messungen eine mittlere Länge von 32 Theilstrichen (Extreme 21 und 43 Striche) für die Epidermiszellen, also beinahe doppelt so viel, als gleich nach dem Aufblühen.

Das Oeffnen und Schliessen der Blüthen, welches, wie ich zeigte, durch ungleichseitig gefördertes Wachsthum veranlasst wird, ist also eine Nutationsbewegung bilateraler Blattorgane und durchaus verschieden von denjenigen periodischen Bewegungen der Laubblätter, welche durch abwechselnde Verlängerung und Verkürzung je einer der antagonistischen Hälften hervorgerufen werden. De Vries [2]) hat das auf der Rückenseite (Aussenseite) geförderte Wachsthum bilateraler Seitenorgane als Hyponastie und das geförderte Wachsthum der Innenseite (Oberseite) als Epinastie bezeichnet. Diese Ausdrücke können wir auch auf die bewegungsfähigen Blüthenblätter anwenden und würde also bei hyponastischem Wachsthum das Schliessen, bei epinastischem Wachsthum das Oeffnen der Blüthen von Crocus, Tulipa, Taraxacum u. a. zu Stande kommen. So gut wie das Oeffnen der Blüthen überhaupt, wird also auch das nicht allen Blüthen zukommende wiederholte Oeffnen und Schliessen durch ungleichseitig gefördertes Wachsthum hervorgerufen.

Einfluss der Temperatur.

Im Vorhergehenden ist schon wiederholt bemerkt, dass Oeffnen und Schliessen der Blüthen durch Beleuchtungs- und Temperaturdifferenzen beeinflusst wird und wollen wir nun die Beziehung von Wärme

1) Vgl. Sachs, Lehrbuch III. Aufl. p. 726.

2) Arbeit. d. bot. Instituts in Würzburg Heft II, 1872 p. 252. Siehe auch Sachs, Lehrbuch III p. 759.

zu den Blüthenbewegungen in's Auge fassen. Wir wenden uns zunächst den Blüthen zu, welche zu allen Tageszeiten durch Temperaturschwankungen zum Oeffnen und Schliessen zu bringen sind. Von diesen habe ich besonders die Blüthen von Crocus vernus und luteus, sowie von Tulipa Gesneriana zu meinen Untersuchungen benutzt, von denen namentlich die ersteren ungemein empfindlich sind. Bezüglich der nicht ganz so empfindlichen Blüthen von Tulipa Gesneriana bemerkt schon Hofmeister[1]), dass Temperaturschwankungen von 4° C. Bewegungen der Perigonblätter hervorrufen.

Indem man Crocus- oder Tulpenblüthen aus einem kälteren in einen wärmeren, oder umgekehrt aus einem wärmeren in einen kälteren Raum bringt, kann man sich mit grösster Leichtigkeit überzeugen, dass steigende Temperatur eine Oeffnungsbewegung, Temperaturabfall aber eine Schliessungsbewegung hervorruft, gleichviel ob man am Licht oder im Dunkeln operirt und es muss in der That auffallend erscheinen, dass Treviranus[2]) jeden Einfluss von Temperatur auf Oeffnen und Schliessen von Crocusblüthen leugnet. Sowohl Crocus luteus, als auch Crocus vernus mit seinen zahlreichen Spielarten verhalten sich gleich, doch treten, abgesehen von den Entwicklungsstadien, individuelle Unterschiede selbst an den Blüthen derselben Art hervor. Besonders empfindlich gegen Temperaturschwankungen habe ich namentlich weissblühenden Crocus vernus und die Blüthen von Crocus luteus gefunden.

Gleich nach dem Oeffnen kann durch Temperaturabfall wieder Schliessung hervorgerufen werden und ich habe z. B. eine Crocusblüthe an einem Tage sich achtmal öffnen und ebensovielmal schliessen lassen. Die Blüthenbewegungen kommen ebenso gut zu Stande, wenn man die Objecte plötzlich aus einem kälteren in einen wärmeren Raum bringt, als wenn man die Temperatur langsam steigen oder sinken lässt; auch ist es gleichgültig, ob man Topfpflanzen oder in Wasser stehende Blüthen verwendet. Dahingegen erfolgt das Oeffnen merklich schneller, und auch mit etwas grösserer Amplitude, wenn die Blüthen zuvor längere Zeit im geschlossenen Zustand verharrten, als wenn sie unmittelbar nach dem Schliessen durch Wärmezunahme wieder geöffnet werden und analog verhält es sich auch mit dem Schliessen geöffneter Blüthen. Auf diesen Punct werde ich indess erst später eingehen können.

Besonders empfindliche Crocusblüthen können durch eine plötzliche Temperaturschwankung von 5° C. schon im Laufe von 8 Minuten sich

1) Pflanzenzelle p. 299.
2) Physiologie 1838 p. 667.

völlig öffnen und schliessen; beim Uebertragen aus einem 12° C. in einen 22° C. warmen Raum habe ich manche Crocusblüthen sich sogar schon im Laufe von 3 Minuten völlig öffnen gesehen. Beim Eintauchen in Wasser, welches um 10° C. wärmer ist, kann günstigsten Falles schon innerhalb einer Minute vollkommenes Oeffnen erfolgen, was übrigens allein auf der hier schnelleren Erwärmung der Blüthentheile beruht [1].

Bei geeigneten Vorrichtungen ist man selbst im Stande zu zeigen, dass die Perigonzipfel von Crocus schon auf Temperaturschwankungen von $\frac{1}{2}$° C. eine leichte Bewegung ausführen können. Ich befestigte zu dem Ende eine kleine Strecke oberhalb der bewegungsfähigen Zone mit Hülfe von Spirituslack einen leichten dünnen Silberdraht, dessen Ende noch ein wenig über die Spitze des Perigons hervorsah. Mit solchen als Index dienenden Drähten wurden zwei opponirte Perigonblätter, ein dem inneren und ein dem äusseren Kreise angehöriges Blatt, versehen und dann nach geeigneter Befestigung der abgepflückten, in Wasser stehenden Blüthen ein Gradbogen so angebracht, dass eine Bewegung der Drahtzeiger gut daran abgelesen werden konnte. Neben diese so vorgerichteten Blüthen wurde ein in $\frac{1}{10}$ Grade getheiltes Thermometer so aufgehangen, dass die Kugel desselben in gleicher Höhe mit den Blüthen stand und dann eine grössere Glasglocke darüber gestülpt. Die ganze Vorrichtung befand sich in einem auf gleicher Temperatur erhaltenen Zimmer, und wenn nun nach etwa halbstündigem Stehen im Laufe von 10 Minuten keine Bewegung der Zeiger stattgefunden hatte, wurde durch Oeffnen der Thür eines etwas wärmeren Nebenzimmers die Temperatur langsam gesteigert. Während so an dem

---

1) Das Wachsthum in der Bewegungszone kann mit sehr grosser Schnelligkeit vor sich gehen. Würde die Bewegungszone 10 Millim. lang und 0,5 Millim. dick sein und aus gerader Lage sich zu 15 Millim. Radius krümmen, so würde sich die convex werdende Seite um 0,33 Millim. verlängern. Geschähe die Einkrümmung in 5 Minuten, so wäre das Wachsthum in 1 Min. 0,066 Millim. Dieses ist ein ansehnlicheres Wachsthum, als es Sachs (Arbeit. d. bot. Instituts 1873 p. 127 ff.) für irgend ein Internodium angegeben hat. Bei der Längenzunahme des Blüthenschaftes von Agave americana um 1 Fuss (Rheinisch?) im Laufe eines Tages (vgl. Treviranus, Physiologie p. 143) würde allerdings die Verlängerung für die Minute 0,218 Millim. betragen, indess ist hier das Wachsthum auf eine so grosse Strecke vertheilt, dass voraussichtlich das Wachsthum eines einzelnen Punctes wesentlich langsamer war, als es bei Crocus der Fall sein kann. Die einfachen Angaben über Verlängerung erlauben überhaupt keinen sicheren Vergleich über die grösste Intensität des intercalaren Wachsthums. Mit diesem kann natürlich auch nicht das von Pfitzer (Monatsb. d. Berl. Akad. 1872 p. 383) gefundene ansehnliche Spitzenwachsthum von Ancylistes Closterii verglichen werden, übrigens dürfte das Spitzenwachsthum bei manchen Pilzen noch ansehnlicher, als an dem eben genannten Objecte sein.

neben den Blüthen hängenden Thermometer im Laufe von 15 Minuten eine Temperaturzunahme von 0,5—0,7° C. abgelesen wurde, konnte an den einzelnen Zeigern eine Bewegung im Sinne des Oeffnens von 1 bis 3 Grad bemerkt werden. Als nun durch Schliessung der Thür und Oeffnen eines Fensters die Temperatur wieder von 17,3° auf 16,4° C. im Laufe von 20 Minuten gesunken war, hatten die Zeiger durch Bewegung im Sinne des Schliessens wieder nahezu die Stellung zu Anfang des Experimentes angenommen.

Die Blüthen von Tulipa Gesneriana und ebenso die von Tulipa sylvestris sind, wie ich schon bemerkte, nicht so empfindlich wie die meisten Crocusblüthen, doch reagiren auch jene schon auf Temperaturschwankungen von 2° C. ganz deutlich und öffnen sich bei erheblichen Wärmedifferenzen mit grosser Schnelligkeit. So bemerkte schon Hofmeister[1]), dass die Spitze der Perigonblätter von Tulipa Gesneriana in 1 Minute um 15 Millim. auseinanderwichen, als die Blüthe aus Luft von 16° R. in Wasser von 32° R. gebracht wurde.

Wenn die in einen wärmeren Raum gestellten, noch im Oeffnen begriffenen Blüthen von Crocus in kältere Luft zurückgebracht werden, so dauert die Oeffnungsbewegung, wenn auch mit nachlassender Geschwindigkeit, noch einige Zeit an, um dann allmälig einer Schliessungsbewegung Platz zu machen. Ebenso setzen in Schliessung begriffene Blüthen beim Einbringen in einen wärmeren Raum noch kurze Zeit die gleiche Bewegung fort, um dann in die entgegengesetzte überzugehen. Sind die Temperaturschwankungen ansehnlich, so kommt die Umkehrung der Bewegung schnell zu Stande, wie nachfolgendes Beispiel zeigt. Die Blüthen von Crocus vernus waren bei diesem Versuche in schon beschriebener Weise mit Gradbogen und Drahtzeiger versehen und wurden bei dem Experimente fortwährend bei so gedämpftem Licht gehalten, dass sich eben noch die Bewegung der Zeiger ablesen liess. Zunächst kamen die Blüthen aus einem 10° C. warmen Zimmer in einen 22° C. warmen Raum und nachdem sie über halb geöffnet waren, wurden sie in das 10° C. warme Zimmer zurückgebracht. Dabei waren die Blüthen in nur wenig Wasser gestellt, das sich in sehr kleinen dünnwandigen Gläsern befand.

Beim Zurückbringen in 10° C	Nach 1 Min.	Nach 2 Min.	Nach 3 Min.	Nach 4 Min.	Nach 5 Min.	Nach 7 Min.	Nach 10 Min.
Weissblühend 47°	49°	50°	49°,5	48°	46°,5	42°	34°
Blaublühend 41°	42°	43°	43°	42°	41°	39°	31°

1) Flora 1862 p. 516.

Die weisse Blüthe war nach Verlauf von weiteren 8 Minuten, die blaue Blüthe nach 6 Minuten geschlossen. Die in Graden angeführten Maasse geben, wie auch bei folgenden Versuchen, die am Gradbogen abgelesene Distanz zwischen den Spitzen der beiden Zeiger an, welche an zwei opponirten Perigonzipfeln angebracht waren.

Bei geringeren Temperaturschwankungen können 5 Minuten vergehen, ehe die Bewegung der Blüthenblätter in die umgekehrte verwandelt ist. Schneller aber noch als es das angeführte Beispiel zeigt, kehrt sich die Bewegung um, wenn die im Oeffnen begriffenen Blüthen aus wärmerem in kälteres Wasser gebracht werden. Bei einigen Versuchen waren die Blüthen mit Drahtzeigern und Metallgradbogen versehen und wurden im geschlossenen Zustand aus einer 17—18° C. warmen Luft in Wasser von 21—22° C. gebracht. Dieses befand sich in einem möglichst engen Cylinder der mit einem doppelt durchbohrten Korke geschlossen war, in dem 2 Glasröhren angebracht waren. Eine dieser ragte auf den Boden des Cylinders und stand durch einen Kautschukschlauch mit einem Behälter in Verbindung der 10° C. warmes Wasser enthielt. Der Hahn dieses Behälters wurde geöffnet, wenn die Blüthen noch im Oeffnen begriffen waren und während nun das kalte Wasser auf den Boden des Cylinders strömte, floss das wärmere Wasser durch die zweite, mit dem Kork endigende Glasröhre ab. Bei den angewandten Dimensionen von Cylinder und Glasröhren war die vollkommene Verdrängung des warmen Wassers im Laufe von 5 Secunden möglich, ohne dass eine zu lebhafte Bewegung des Wassers die Lage der Perigonzipfel merklich geändert hätte. Ein bis zwei Minuten nach dem Einfliessen des kälteren Wassers zeigte ein eintauchendes Thermometer bei den verschiedenen Versuchen eine Temperatur von 10,5 bis 11°,5 C. an.

Da die von mir in solcher Weise angestellten Versuche zu gleichem Resultate führten, so genügt es hier das Ergebniss eines Experimentes anzuführen. Nachdem die aus 18° C. warmer Luft in 22° C. warmes Wasser gebrachten Blüthen sich in 6 Minuten auf 52° geöffnet hatten, wurde das kältere Wasser hinzugelassen. Eine Minute darauf wurden 53°,5 abgelesen, nach 2 Minuten 51°,5, nach 3 Minuten 48° und nach im Ganzen 6 Minuten war die Blüthe geschlossen.

Bei diesem und auch den anderen Versuchen, gelang an den noch in schnellem Oeffnen begriffenen Blüthen die Umkehrung der Bewegung schon in weniger als 2 Minuten. Man darf also annehmen, dass eine Temperaturschwankung geradezu augenblicklich das schnellere Wachsthum eines antagonistischen Gewebecomplexes, bei unserem Versuche

des inneren retardirt, während der andere Gewebecomplex gleichzeitig zu beschleunigtem Wachsthum angeregt wird. Dass diese Umkehrung in Wasser plötzlicher geschieht, als in Luft, spricht nur für die augenblickliche Wachsthumsänderung, da die Perigonblätter im Wasser jedenfalls viel schneller der Temperatur des umgebenden Mediums sich näherten, als es in Luft der Fall war.

Die mitgetheilten Versuche lassen schon erkennen, dass beim Einbringen von im Oeffnen begriffenen Blüthen in ein weniger warmes Medium das Schliessen nach der Umkehrung der Bewegung langsam beginnt und dann mit zunehmender Geschwindigkeit fortschreitet. Ebenso verhält es sich auch, wenn Blüthen, welche bei constanter Temperatur sich schon längere Zeit im geöffneten Zustand befanden, durch sinkende Temperatur zur Schliessung gebracht werden. Ich will auch hier mich mit Anführung eines einzigen Versuches begnügen, welcher in der schon beschriebenen Weise mit einer in Wasser befindlichen Blüthe angestellt wurde. Dieselbe war bei einer Wassertemperatur von 19°,3 C. seit einer halben Stunde unverändert auf 32° geöffnet gewesen, als nun 15° C. warmes Wasser schnell hinzugelassen wurde. Nach 1 Minute betrug die Oeffnung noch 31°,5, nach 2 Minuten 29°, nach 3 Min. 26°, nach 4 Min. 22°, nach 5 Min. 18°,5, nach 6 Min. 11°, nach 8 Min. 3° und etwa 20 Secunden später war die Blüthe ganz geschlossen. Die angegebenen Zahlen vermögen wohl das beschleunigte Schliessen im Allgemeinen anzugeben, genau vergleichbar sind die Maasse nicht, weil die Krümmung ja durch eine längere Zone des Perigons vermittelt wird, das untere, oberhalb der Bewegungszone befestigte Ende des Zeigers also auch fortrückt. Da es hier aber auf genaue relative Maasse durchaus nicht ankam, so habe ich auf die Anfertigung von Gradbogen, welche die abgelesenen Zahlen unmittelbar vergleichbar gemacht hätten, verzichtet, und bei meinen Versuchen gewöhnliche Gradtheilungen so befestigt, dass der Mittelpunct ihrer Krümmung zu Anfang des Versuches in die bewegungsfähigste Zone der Perigonblätter fiel. Ich muss hier auch noch erwähnen, dass die als Index dienenden Drähte wie das Perigon gekrümmt waren, so dass ihre eben über das Ende der Perigonblätter hervorragenden Spitzen bei der Schliessung der Blüthen bis zur Berührung zusammenneigten.

Aus den mitgetheilten Versuchen lässt sich entnehmen, dass das durch Temperaturschwankungen angeregte geförderte Wachsthum eines antagonistischen Gewebecomplexes langsamer beginnt und dann schnell an Geschwindigkeit zunimmt, wie dieses die Bewegung der Perigonzipfel anzeigt. Darin stimmt das Wachsthum unserer Objecte

mit dem von Internodien überein, welche des Abends in Folge der Lichtentziehung schneller zu wachsen beginnen, das Maximum der Wachsthumsgeschwindigkeit aber erst Morgens erreichen, wo das Licht dann wieder retardirend wirkt [1]. Bei Crocus, Tulipa u. a. vermag freilich eine Temperaturdifferenz eine auffallend starke Beschleunigung des Wachsthums hervorzurufen. Bis dahin sind aber noch keine Objecte bekannt, welche wie unsere Blüthen Zellcomplexe besitzen, von denen der eine durch sinkende, der andere durch steigende Temperatur zu gefördertem Wachsthum angeregt wird. Wir werden auf diesen Punct später nochmals zurückkommen, hier möchte ich aber noch darauf hinweisen, dass bei den fraglichen Blüthen es gerade Temperaturschwankungen sind, welche das Wachsthum beschleunigen, während nach Köppen [2] das Wachsthum der Wurzeln bei schwankender Temperatur geringer, als bei constanter Temperatur ausfällt.

Dass in Wasser untergetauchte Blüthen sich noch öffnen und schliessen können, ist schon lange bekannt [3] und wiederholt ist auch im Vorhergehenden davon die Rede gewesen. Ich muss aber hier noch zeigen, dass das Oeffnen und Schliessen der Blüthen von Crocus und Tulipa nur durch die Temperaturschwankungen des Wassers hervorgerufen wird. Bringt man nämlich diese Blüthen in Wasser, welches bis auf $^1/_{10}$ Grade genau mit der Temperatur der Luft übereinstimmt, so findet auch innerhalb einer Stunde gar keine Bewegung der Perigonzipfel statt, die, wie schon bekannt, durch Temperaturdifferenzen leicht hervorzurufen ist. In gleicher Weise wird auch beim Einbringen der Blüthen von Oxalis valdiviana, Taraxacum und anderen Pflanzen in Wasser keine Bewegung wahrgenommen, die auch an diesen Pflanzen nur unter denselben Bedingungen wie an in Luft befindlichen zu Stande kommt. Auch beim Uebertragen aus einer trockenen in eine dampfgesättigte Atmosphäre ist eine Bewegung an den genannten Blüthen nicht zu bemerken. Hierbei habe ich natürlich nur in voller Turgescenz befindliche Blüthen im Auge, denn an etwas gewelkten Blüthen würden allerdings beim Eintauchen in Wasser in Folge von Flüssigkeitsaufnahme Bewegungen zu Stande kommen können, welche indess nur auf Wasseraufnahme beruhen und mit dem durch Wachsthum hervorgerufenen Oeffnen und Schliessen der Blüthen nichts gemein haben.

---

1) Sachs, Arbeit. d. bot. Instituts in Würzburg, Heft II, 1872 p. 166; Lehrbuch III. Aufl. p. 735.

2) Vgl. Sachs, Lehrbuch III. Aufl. p. 742.

3) Siehe de Candolle, Physiologie übers. von Röper, Bd. II p. 28; Hoffmann, Annal. d. sc. naturell III. Ser. T. XIII, 1849 p. 312.

Royer's[1]) Annahme, dass durch Turgescenzänderung hervorgerufene Verlängerung und Verkürzung von Geweben eine der Ursachen der Blüthenbewegungen sei, bedarf nach dem Gesagten keiner besonderen Widerlegung. Auch die von Linne zu den meteorischen gestellten Blüthen von Sonchus sibiricus verhalten sich in feuchter Luft und in Wasser ganz so, wie die Blüthen anderer Compositen und mit anderen Wetterpropheten, wie Calendula pluvialis, die mir nicht zu Gebote stand, wird es sich wohl ebenso herausstellen[2]).

Das Oeffnen und Schliessen der in Wasser untergetauchten Blüthen geht am ersten Tage wohl mit gleicher Amplitude wie an Luft vor sich, am zweiten Tage verringert sich gewöhnlich die Grösse der Bewegung und am dritten Tage fand ich diese an den Blüthen von Crocus, Tulipa Gesneriana und Leontodon hastilis meist erloschen, auch wenn die Objecte noch nicht verblüht waren. Es rührt diese Aufhebung der Bewegungsfähigkeit offenbar von einer partiellen Verdrängung der in den Intercellularen enthaltenen Luft durch Wasser her, da schon nach einer unvollkommenen, mit Hülfe der Luftpumpe vorgenommenen Injection das Oeffnen und Schliessen der vorgenannten Blüthen aufhört, auch wenn sie nun in Luft gebracht werden. Hierbei habe ich freilich nach Verlauf eines Tages an Blüthen von Tulipa, welche nur sehr unvollkommen mit Wasser injicirt waren, die Bewegungsfähigkeit, wenn auch in einem geringen Grade wiederkehren gesehen[3]), was wohl auf einem theilweisen Wiederersatz des in den Intercellularen enthaltenen Wassers durch Luft beruhen mag, wenigstens lässt die sich vermindernde Durchsichtigkeit der Perigonblätter solches vermuthen. Ich habe die Injectionsversuche nicht weiter ausgedehnt, da sie nach meinen Erfahrungen an Laubblättern kein besonderes Interesse für mich haben konnten und es ist immerhin möglich, dass auch Blüthen gefunden werden, welche noch nach völligem Ersatz der Luft durch Wasser Bewegungen auszuführen vermögen. So ist es, wie ich nachwies, bei den Blättern von Oxalis, die sich nach vollkommener Injection noch periodisch bewegen und auf Reiz reagiren, während an den Blättern von Mimosa pudica unter gleichen Umständen beide Bewegungen aufgehoben sind.

---

1) Annal. d. sc. naturell V. Ser. Bd. IX p. 348 und 356.

2) Auch für die Blätter von Porliera hygrometrica hat Fée gezeigt (Bull. d. l. soc. botan. de France 1858 p. 465), dass sie nicht durch Feuchtigkeitswechsel der Luft, wie mehrfach behauptet wurde, zu Bewegungen veranlasst werden und auch unter Wasser die periodischen Bewegungen in gewöhnlicher Weise ausführen.

3) Siehe auch Hofmeister, Flora 1862 p. 516.

Auch an den injicirten Blättern von Trifolium incarnatum bemerkte ich keine periodischen Bewegungen mehr.

Wie zur Realisirung von Wachsthum überhaupt, müssen auch gewisse äussere Bedingungen erfüllt sein, damit das durch Wachsthum veranlasste Oeffnen und Schliessen der Blüthen zu Stande kommt. In einer Atmosphäre von Kohlensäure und ebenso im luftleeren Raum vermögen selbst sehr ansehnliche Temperaturschwankungen irgend eine Bewegung an den Blüthen von Crocus nicht hervorzurufen. Auch hat schon Dutrochet[1]) gezeigt, dass sich Blüthen im luftleeren Raum nicht öffnen. Ebenso ist Oeffnen oder Schliessen der Blüthen erst nach Ueberschreitung eines specifisch verschiedenen Temperaturminimums möglich.

Das Minimum der Temperatur, oberhalb welcher durch Wärmesteigerung eine Oeffnungsbeweguug der Blüthen von Crocus stattfindet, wurde in der Weise bestimmt, dass 4 mit Gradbogen versehene Blüthen in ein Glas gestellt wurden, das mit Eiswasser umgeben war. Nachdem die Temperatur der die Blüthen umgebenden Luft sich während $1/2$ Stunde auf 2 bis 3° C. gehalten hatte, wurde nach Entfernung der Eisstücke für langsame Erwärmung gesorgt. Von 1 Uhr 15 Min. bis 3 Uhr 15 Min. Mittags erhob sich die Temperatur auf $6^3/_4$° C., ohne dass irgend eine Bewegung an den Perigonzipfeln bemerklich geworden wäre, dieses war auch dann noch nicht der Fall, als um 4 Uhr die Temperatur auf 8° C. gestiegen war. Während aber zwischen 4 und 5 Uhr die Temperatur der die Blüthen umgebenden Luft von 8 auf 10° C. sich erhob, begannen die Blüthen sich etwas zu öffnen und bei Temperatursteigerung bis zu 12° C. war die Oeffnung ziemlich weit fortgeschritten. Das Minimum der zum Oeffnen nöthigen Temperatur liegt also oberhalb 8° C., was ziemlich hoch erscheint, wenn man bedenkt, dass Crocus vernus und luteus zu einer Jahreszeit blühen, in welcher die Tageswärme sich oft unter jenem Minimum hält. Möglich, dass kleinere individuelle Unterschiede vorkommen, doch verhielten sich bei meinen Versuchen sowohl weiss-, als blaublühende Exemplare von Crocus vernus, wie auch die Blüthen von Crocus luteus gleich. Bemerkt sei auch noch, dass die Blüthen während des Versuches an diffusem, aber ziemlich hellem Lichte gehalten wurden.

Die Blüthen von Leontodon hastilis, Hieracium vulgatum, Scorzonera hispanica und Oxalis rosea öffnen sich bei Temperaturen zwischen 8 und 10°C., selbst bei Aufenthalt in mässig dunklen Räumen, während sie zwischen 1 bis 3°C., auch am Licht, geschlossen bleiben. Die Blüthen

1) Mémoir. pour servir a l'histoire d. aminaux et d. végetaux 1837, Bd. I p. 471.

von Taraxacum officinale hingegen führen bei 9° C. und gleichzeitigem Aufenthalt in nur schwach erhelltem Raume nur höchst geringfügige Bewegungen aus.

Bei Ueberschreitung eines gewissen Temperaturmaximums beginnen die Blüthen von Crocus vernus sowohl, als auch die von Tulipa Gesneriana eine, wenn auch gewöhnlich nur partielle Schliessungsbewegung. Die bezüglichen Versuche wurden in dem bekannten, mit Wasser zu füllenden doppelwandigen Heizapparat ausgeführt [1]) und die Glasglocke hierbei unmittelbar dem Rande des Blechgefässes aufgesetzt, um eine möglichst dampfgesättigte Atmosphäre unter derselben zu erhalten. Die Oeffnung der Blüthen wurde an in schon früher beschriebener Weise angebrachten Gradbogen abgelesen.

Bei dem hier mitgetheilten Versuche mit Crocus vernus sind die mit Nr. 1 und 2 bezeichneten blau, die mit Nr. 3 und 4 bezeichneten weiss. Sämmtliche waren Abends (9. April) im Garten gepflückt und Nachts in einem von 17 auf 15° C. sich abkühlenden Zimmer gehalten. Des anderen Morgens kamen sie geschlossen um 9 Uhr in den Heizapparat und öffneten sich bis 12 Uhr 30 Min., während die Temperatur auf 26°,5 C. stieg, bis zu den angeführten Graden, welche auch hier die abgelesene Distanz zwischen den zwei Zeigerspitzen angeben. Die in Graden angeführten Werthe sollen übrigens kein reelles Maass für die Oeffnungsweite der Blüthen sein, sondern ganz allein dazu dienen, die Oeffnungs- oder Schliessungsbewegungen anzuzeigen.

	12 U. 30′ Morgens 26°,5 C.	12 U. 45′ 27°,2 C.	12 U. 55′ 27°,5 C.	1 U. 5′ 28°,1 C.	1 U 30′ 28°,6 C.	2 Uhr 30°,2 C.	2 U. 30′ 33°,2 C.
1	68°	70°	70°	70°	69°	66°	62°
2	42°	45°	45°	43°	38°	29°	16°
3	60°	65°	68°	68°	53°	39°	38°
4	55°	55°	53°	46°	40°	35°	33°

Die Flamme wird um 2 Uhr 30 Min. ganz klein gemacht, so dass langsame Abkühlung erfolgt.

	2 U. 45′ 32°,8 C.	3 U. 30′ 31°,2 C.	4 U. 45′ 28°,8 C.	5 U. 15′ 28°,2 C.	5 U. 45′ 27°,4 C.	6 U. 15′ 26°,6 C.
1	60°	58°	48°	43°	40°	37°
2	14°	4°	2°	—	—	—
3	38°	37°	32°	27°	23°	19°
4	33°	32°	25°	21°	18°	15°

1) Sachs, Experimentalphys. p. 64.

Bis 7 Uhr 30 Min. Abends ist die Temperatur auf 23°,2 C. gesunken und Nr. 3 und 4 sind geschlossen, während sich Nr. 1 erst um 8 Uhr 15 Min. völlig geschlossen hat, bis wohin die Temperatur sich auf 19° C. erniedrigte. Die Blüthen befanden sich während des ganzen Versuchs im Dunkeln.

Der folgende Versuch ist in gleicher Weise mit drei Gartentulpen (Duc van Toll) gemacht, welche Abends (18. April) gesammelt wurden und Nachts in einem von 18 auf 14° C. sich abkühlenden Zimmer blieben. Des Morgens 8 Uhr kamen die geschlossenen Blüthen in den Heizapparat und hatten sich, während die Wärme bis 10 Uhr 10 Min. auf 27° C. gesteigert wurde, auf die unten angegebenen Maasse geöffnet. Die Blüthen waren während des Versuches verdunkelt.

	10 U. 10' Morgens 27° C.	10 U. 30' 28°,2 C.	10 U. 40' 29°,2 C.	10 U. 50' 29°,8 C.	11 Uhr 30°,2 C.	11 U. 10' 31° C.	11 U. 25' 31°,5 C.	11 U. 55' 34°,2 C.	12 U. 30' 35°,9 C.
1	126°	133°	134°	137°	135°	134°	133°	130°	127°
2	122°	127°	128°	128°	126°	124°	122°	119°	117°
3	116°	122°	125°	126°	126°	125°	123°	121°	120°

Die Flamme wird sehr verkleinert, so dass die Temperatur langsam sinkt.

	1 Uhr 34° C.	1 U. 30' 31°,7 C.	2 Uhr 30° C.	2 U. 15' 29°,2 C.	2 U. 45' 28°,4 C.	3 Uhr 27°,2 C.
1	126°	125°	120°	118°	116°	111°
2	116°	114°	107°	105°	100°	96°
3	118°	115°	109°	106°	103°	99°

Bis Abends 8 Uhr ist die Temperatur auf 16° C. gesunken, Nr. 1 ist noch auf 50°, Nr. 2 auf 30° und Nr. 3 auf 27° geöffnet und auch bis zum nächsten Morgen, als die Temperatur auf 13°,5 C. gefallen ist, haben sich die Blüthen nur wenig weiter geschlossen. Auf Temperatursteigerung begannen die Blüthen übrigens eine ansehnliche Oeffnungsbewegung.

Bei den Crocus- und Tulpenblüthen findet, wie die angeführten Versuche zeigen, bei allmälig steigender Temperatur fortwährend eine, wenn auch schliesslich nur langsam fortschreitende Oeffnungsbewegung statt, bis endlich bei einem gewissen Temperaturgrade Stillstand eintritt und weiterhin eine ansehnliche Schliessungsbewegung beginnt.

Diese hat in dem vorstehenden Versuche mit Crocusblüthen bei Nr. 4 schon zwischen 27,2 und 27°,5 C. bei den anderen drei Blüthen zwischen 27,5 und 28°,7 C. ihren Anfang genommen und auch in zwei anderen hier nicht mitgetheilten Experimenten wurde der Wendepunct der Blüthenbewegung zwischen 27 und 29° C. beobachtet. Bei Tulpenblüthen tritt, wie der angeführte und übereinstimmend auch ein anderer Versuch ergab, bei ungefähr 30° C. (zwischen 29,8 und 30°,2 C. in vorstehendem Experimente) die Umkehrung der Bewegung der Perigonblätter ein. Bei noch weiter steigender Temperatur habe ich die Tulpen niemals, Crocusblüthen nur in zwei Fällen sich vollkommen schliessen gesehen, meist blieben auch letztere theilweise geöffnet, selbst wenn die Temperatur sich allmälig bis zu 40° C. erhöhte. Hierbei hörte freilich schon bei 36—37° C. alle Bewegung der Perigonblätter auf, was auf einen bei diesen Temperaturgraden eintretenden Starrezustand hinweisen dürfte. Bei sinkender Temperatur fuhren die Blüthen ganz ausnahmslos in ihren Schliessungsbewegungen fort, gleichviel ob sich die Wärme nur wenig über den Wendepunct oder auch bis zu 40° C. erhoben hatte.

Die beobachteten Thatsachen erlauben noch keinen sicheren Schluss über die Wachsthumsänderungen, welche die über eine gewisse Grenze steigende Temperatur hervorruft, Aenderungen die sich durch die Umkehrung der Oeffnungsbewegung der Perigonblätter zu erkennen geben. Die Gewebeschichten der Innenseite der Bewegungszone werden, wie wir wissen, durch Temperatursteigerung zu beschleunigtem Wachsthum angeregt, wenn aber ein Wärmeoptimum für das Wachsthum dieser Schichten erreicht ist, und die Temperatur noch weiter steigt, dann muss es als nicht unwahrscheinlich erscheinen, dass nun Temperaturerhöhung das Wachsthum ebenso verlangsamt, wie Temperaturabfall unterhalb des Optimums [1]). Das Wachsthum der Aussenseite der Bewegungszone wird umgekehrt durch eine Temperaturerniedrigung beschleunigt, doch bei dicht über dem Minimum der Blüthenbewegung liegenden Graden, wie die geringere Bewegung des Perigons anzeigt, in viel schwächerem Maasse als bei etwas höherer Temperatur. Giebt es nun auch für das Wachsthum dieser Gewebeschichten der Aussenseite ein Wärmeoptimum, so wäre denkbar, dass eine jede von diesem aus herbeige-

1) Je günstiger die Wachsthumsverhältnisse bei gegebener constanter Temperatur sind, um so ausgiebiger wird auch die Bewegung werden, welche eine Temperaturänderung hervorruft. Es gilt dieses auch für das durch Temperaturabfall beschleunigte Wachsthum einer antagonistischen Hälfte, welches bei einer gleichen Wärmeabnahme viel ansehnlicher ist, wenn die anfängliche Temperatur etwa 20° C. ist, als wenn sie nur 12° C. beträgt.

führte Temperaturänderung, also sowohl Fallen als Steigen der Temperatur, ein beschleunigtes Wachsthum veranlassen könnte. Unter solchen Verhältnissen würde dann durch Temperatursteigerung oberhalb des Wärmeoptimums gerade die entgegengesetzte Bewegung des Perigons hervorgerufen werden, als dieses durch Temperaturerhöhung unterhalb des Optimums der Fall ist. Es ist nun freilich möglich, dass durch eine Wachsthumsänderung in der eben angedeuteten Weise die Umkehrung der Bewegung der Perigonzipfel zu Stande kommt, welche nach Ueberschreitung specifischer Temperaturgrade beobachtet wird, doch wird dieses endgültig erst durch genaue Versuche zu entscheiden sein. Gegen die soeben erörterte Möglichkeit spricht allerdings der Umstand, dass die bei Steigerung der Temperatur im Schliessen begriffenen Blüthen auch bei wieder sinkender Temperatur ihre Schliessungsbewegung fortsetzen, gleichviel ob die Wärme bis 33 oder 40 ° C. gesteigert war, und ob die Abkühlung nur allmälig geschieht; oder, wie in einem nicht mitgetheilten Versuche mit Crocus, die Temperatur schnell von 36 auf 30 ° C. erniedrigt wird. Hierbei würden aber, wenn die obigen Auseinandersetzungen richtig wären, die Blüthen zu einer Oeffnungsbewegung umkehren müssen, so gut, wie ja auch unterhalb des hypothetischen Optimums ein Temperaturabfall die entgegengesetzte Bewegung wie eine Wärmesteigerung hervorruft. Wenn nun auch verschiedene Erklärungen für die Umkehrung der Bewegung der Perigonblätter nach Ueberschreitung einer gewissen Temperatur möglich scheinen, so mag ich mich doch hier nicht auf weitläufige hypothetische Erörterungen einlassen. Hinweisen will ich nur darauf, dass die Schliessungsbewegung der Blüthen z. B. dadurch zu Stande kommen könnte, dass nach Ueberschreitung des Wärmeoptimums das Wachsthum der Innenseite sich verlangsamte, während das der Aussenseite etwa noch in demselben Grade wie zuvor fortdauerte. Unter solchen Verhältnissen würde dann bei wieder sinkender Temperatur das Wachsthum der Aussenseite eine Beschleunigung erfahren können und die Schliessungsbewegung der Blüthen könnte ohne Unterbrechung andauern, ja sogar beschleunigt werden, wie es bei meinen Versuchen der Fall zu sein schien. Es könnten aber auch bei den fraglichen Blüthenbewegungen einfache Turgescenzänderungen im Spiele sein, welche durch die Einwirkung der hohen Wärmegrade auf den lebenden Organismus, nicht etwa durch gesteigerte Transpiration hervorgerufen werden müssten, weil die Blüthen sich immer in nahezu dampfgesättigter Atmosphäre befanden.

Die hohe Erwärmung der Blüthen scheint übrigens die Wachsthumsfähigkeit der antagonistischen Gewebeschichten der Bewegungszone für die nächste Zeit zu vermindern. Wenigstens erfolgte die Schliessung der Crocusblüthen auffallend langsam, obgleich die Temperatur von 30 und mehr Graden bis unter 20° C. sank. Wenn die dem oben angeführten Experimente unterworfenen Tulpenblüthen sich nachher überhaupt nicht mehr ganz vollkommen schlossen, so gilt dieses doch nicht für alle Fälle und mag mit dem Entwicklungsstadium der Blüthen zusammenhängen. An Tulpen, die schon einige Zeit aufgeblüht sind, vermindert sich nämlich allmälig die Bewegungsamplitude und an manchen Exemplaren kommt dann eine vollkommene Schliessung selbst durch sehr ansehnliche Temperaturschwankungen nicht mehr zu Stande.

Die für Temperaturschwankungen empfindlichsten Blüthen, welche mir zu Handen kamen, sind die von Crocus und Tulipa, doch auch die Blumenkronen von Adonis vernalis, sowie das Perigon von Ornithogalum umbellatum und Colchicum autumnale reagiren ziemlich leicht auf Temperaturdifferenzen. In etwas geringerem Grade gilt dieses für die Corollen von Ficaria ranunculoides, Anemone nemorosa und ranunculoides und Malope trifida, welche indess zu jeder Tageszeit, unabhängig von Beleuchtung, durch Wärmesteigerung zu völligem oder wenigstens theilweisem Oeffnen, durch Temperaturabfall umgekehrt zum Schliessen zu bringen sind. Schon bei Crocus und Tulipa ist es auffallend, wie das Oeffnen der Blüthen durch Temperatursteigerung ungleich schneller erfolgt, wenn die Blüthen zuvor längere Zeit im geschlossenen Zustand verharrten, als wenn sie gleich nach Schliessung durch Wärme zum Oeffnen gebracht werden und in noch höherem Maasse macht sich dieser Unterschied an den anderen eben genannten Blüthen bemerklich. Des Morgens z. B. öffnen sich die Blüthen von Ficaria oder Anemone, auch im Dunklen, durch eine Temperatursteigerung von 10 Grad vielleicht in 15 Minuten, schliessen sich nun aber bei ebenso starker Temperaturerniedrigung vielleicht erst in $1\frac{1}{2}$ bis 2 Stunden und brauchen wohl ebensoviel oder noch mehr Zeit, um bei einer Temperaturerhöhung von 10 Grad wieder geöffnet zu werden, was zudem nicht so vollkommen wie am Morgen geschieht. In noch höherem Maasse tritt uns der gleiche Unterschied bei den Blüthen von Galanthus nivalis entgegen, deren drei äussere Perigonzipfel sich öffnen und schliessen. Abends bringt eine Temperaturerhöhung von 10° C. diese geschlossenen Zipfel zwar zu merklichem Auseinanderweichen, jedoch wohl nie halb so weit, als eine gleiche Wärmezunahme es des anderen Morgens, auch bei Lichtabschluss, thun würde.

Das eben erwähnte Verhalten traf ich in noch extremerer Weise bei Nymphaea alba, Oxalis rosea und valdiviana, Mesembryanthemum tricolor und echinatum und an allen untersuchten sich öffnenden und schliessenden Blüthen der Compositen. Sind diese Abends geschlossen, dann vermag man ohne besondere Vorrichtungen, selbst bei Erhöhung der Temperatur von 10 auf 28 ° C., gewöhnlich gar keine Bewegung zu erkennen, auch dann nicht, wenn sich schon Nachmittags schliessende Blüthen, wie die von Venidium calendulacea und Barkhausia rubra noch bei Tageslicht erwärmt werden. Des Morgens hingegen werden diese Blüthen durch Temperaturerhöhung, auch im Dunkeln mehr oder weniger schnell zum Oeffnen gebracht. An den geöffneten Blüthen vermag nun aber auch eine ansehnliche Temperaturerniedrigung keine merkliche Bewegung hervorzurufen, während gegen Abend das Schliessen durch Temperaturabfall sehr beschleunigt wird. Durch eine Temperaturerniedrigung von 10—15 ° C. konnten die dabei am Licht bleibenden Blüthen von Taraxacum officinale und Leontodon hastilis schon um einige Stunden früher am Nachmittage zum Schliessen gebracht werden. Ebenso liessen sich durch eine Wärmeerhöhung um 10 bis 15 ° C. die Blüthen der obengenannten Pflanzen schon um 4 Uhr Morgens öffnen, während andere bei constanter Temperatur gehaltene erst um 8 Uhr aufzublühen begannen.

Eine geringe Oeffnungsbewegung kann freilich an den eben geschlossenen Blüthen durch eine Temperaturerhöhung hervorgerufen werden. Um dieses nachzuweisen brachte ich an zwei gegenüberstehenden Zungenblüthen mit Lack je ein leichtes Drahtstückchen an, das als Index an einem in geeigneter Weise befestigten Gradbogen diente. Die Drahtstückchen reichten bis zur bewegungsfähigen Zone der Blüthen herab und waren hier, wie auch an der Spitze der Zungenblüthe befestigt, um eventuelle Beugungen der Lamina zu vermeiden. Wenn dann die Blüthen völlig geschlossen und in der Stellung der Zeiger im Verlaufe einer halben Stunde keine Aenderungen wahrzunehmen gewesen waren, wurde die Temperatur des Heizapparates allmälig gesteigert. Bei Calendula arvensis vermehrte sich bei einem derartigen Versuche die Distanz der beiden Zeiger um 3 und 5 Grad, während die Temperatur von $8^1/_2$ bis 9 Uhr Abends von 16 auf 27 ° C. stieg. Unter den gleichen Umständen wichen die Zeiger bei Leontodon hastilis und Barkhausia rubra um 4 bis 11 Grad auseinander. Eine etwa eben so grosse Annäherung der Zeiger fand umgekehrt dann statt, wenn die eben geöffneten Blüthen Morgens von 26 auf 16° C. abgekühlt wurden. Bei diesem Versuche kamen die Blüthen Morgens 6 Uhr in den Heizapparat

und nachdem die Oeffnung vollendet war und die Zeiger bei constanter Temperatur eine halbe Stunde unbeweglich gestanden hatten, wurde von 9 Uhr bis 11 Uhr die eben erwähnte Temperaturerniedrigung bewerkstelligt. An den Blüthen von Oxalis rosea konnte des Abends bei einer Temperatursteigerung um 10—12° C. nur eine Entfernung der Zeiger um 1/2 bis 1 1/2 Grad bemerkt werden und bei den Blüthen von Bellis perennis war ein Auseinanderweichen der Zeiger überhaupt nicht mit voller Sicherheit zu bemerken. Dass hier aber doch eine, wenn auch verschwindend kleine Bewegung hervorgerufen wird, wie es mir auch thatsächlich schien, wird wohl Niemand bezweifeln wollen.

Das Verhalten der eben genannten Blüthen ist aber von dem Verhalten der leicht auf Temperaturschwankungen reagirenden Blüthen nur graduell verschieden und durch Bindeglieder verknüpft. Wir erfuhren ja schon, dass die Blüthen von Crocus und Tulipa sich ungleich schneller Morgens öffnen, wenn sie während der Nacht im geschlossenen Zustand verharrten, als wenn sie unmittelbar nach dem Schliessen durch Temperatursteigerung zum Oeffnen gebracht werden. Dieser Unterschied wird bei Ficaria noch ansehnlicher und tritt in noch höherem Grade bei Galanthus hervor, dessen Blüthen Abends durch dieselbe Temperatursteigerung eine nur partielle Oeffnung erfahren, durch welche sie am Morgen, auch ohne Mitwirkung von Beleuchtung, leicht vollkommen geöffnet werden. Damit ist aber die Verbindungsbrücke zu den noch geringeren Bewegungen geschlagen, welche Temperaturerhöhungen an den kurz zuvor geschlossenen Blüthen der Compositen und von Oxalis hervorzurufen vermögen. Für diese Blüthen ist Royer's[1] Behauptung, dass die geschlossenen Blumen Abends nicht durch Wärme zum Oeffnen zu bringen seien, allerdings richtig, dagegen befindet sich dieser Autor im Irrthum, wenn er allgemeine Gültigkeit für seine Ansicht verlangt und diese unter anderen auch auf Tulipa und Crocus ausdehnt.

Während bei Crocus das Oeffnen einer Blüthe durch Temperaturerniedrigung schnell aufgehalten wird und einer Schliessungsbewegung Platz macht, kann letztere bei den am Abend sich schliessenden Blüthen von Oxalis, Nymphaea alba, Taraxacum und Leontodon hastilis durch eine plötzliche oder allmälige Temperatursteigerung nicht aufgehalten werden und ebensowenig vermag ein starker Temperaturabfall die Oeffnung der Blüthen am Morgen zu sistiren. Das durch eine Temperatursteigerung hervorgerufene Oeffnungsstreben ist bei den eben

---

1) Annal. d. sc. natur. V. Ser., T. IX 1868 p. 349.

genannten Blüthen nicht kräftig genug, um die gegen Abend vor sich gehende Schliessungsbewegung zu eliminiren; etwas aufgehalten wird diese freilich nach unsern Erfahrungen werden, was ich indess durch Beobachtungen nicht festzustellen suchte.

Werden die uns hier beschäftigenden Blüthen während des Tages geschlossen gehalten, so können sie Abends durch Temperatursteigerung geöffnet werden. Zu dem Ende kamen die Blüthen von Leontodon hastilis, Taraxacum officinale, Hieracium vulgatum und Venidium calendulacea in ein grösseres Glasgefäss, das in Eiswasser gestellt eine Temperatur der eingeschlossenen Luft von 3 bis 4° C. anzeigte[1]. Abends 11 Uhr (im August) wurden die Blüthen in eine Temperatur von 17° C. gebracht, die allmälig auf 22° C. stieg, wobei sie sich im Laufe von 1/2 bis 1 Stunde alle vollkommen öffneten. Bis zum nächsten Morgen (8 Uhr) waren die um 2 Uhr Nachts noch ziemlich geöffneten Blüthen ganz geschlossen und öffneten sich auch wärend des Tages nur sehr wenig, wenn sie in möglichst vollkommener Dunkelheit gehalten wurden. Am Abend konnten nun die Blüthen, abgeblühte natürlich ausgenommen, durch eine Wärmesteigerung von 10 bis 12° C. wieder ziemlich weit geöffnet werden, während sie am Morgen eine, ohne besondere Vorrichtung kaum wahrnehmbare Oeffnungsbewegung bei gleicher Temperaturerhöhung ausführten. Die Blüthen von Bellis perennis verhielten sich in gleicher Weise, nur war bei denselben die Amplitude der durch Temperaturschwankungen hervorgerufenen Bewegung im Allgemeinen geringer, als bei den vorhin genannten Pflanzen. Ein anderer Theil der des Tages mit Hülfe von Eiswasser geschlossen gehaltenen und Abends geöffnet gewesenen Blüthen kam am folgenden Morgen bei zwischen 17—18° C. schwankender Temperatur an das Licht. Diese öffneten sich nur sehr allmälig und hatten erst um Mittag etwa 3/4 Oeffnung erreicht und ohne sich ganz vollkommen ausgebreitet zu haben, schlossen sich dieselben so ziemlich zu derselben Zeit, wie die unter normalen Verhältnissen gebliebenen Blüthen derselben Art und waren dann Abends durch Temperatursteigerung anscheinend nicht mehr als diese letzeren zu Oeffnungsbewegungen zu veranlassen.

Die eben mitgetheilten Versuche zeigen, dass es möglich ist, die Zeit des Oeffnens und Schliessens der genannten Blüthen zu verlegen und bei Lichtentziehung allein durch Temperaturschwankungen hervor-

1) Die Blüthen von Leontodon Taraxacum öffnen sich, wie ich schon früher bemerkte, in mässiger Dunkelheit und bei 9° C. gehalten fast gar nicht, während die anderen hier genannten Blüthen bei gleichen Bedingungen ziemlich weit aufblühen.

zurufen. Damit eine Temperatursteigerung eine ansehnliche Oeffnung hervorrufen kann, muss aber längere Zeit seit der letzten Blüthenbewegung verflossen sein. In der einen antagonistischen Gewebehälfte wird also durch eine Ruheperiode der Zustand wieder hergestellt, welcher auf Temperatursteigerung das beschleunigte Wachsthum dieser Gewebecomplexe gestattet und entsprechend verhält es sich natürlich mit dem anderen antagonistischen Gewebe, welches auf Temperaturabfall mit Beschleunigung des Wachsthums antwortet. War die Ruhezeit zu kurz, dann ist auch das Wachsthum und dem entsprechend die Oeffnung der Blüthe bei Erwärmung geringer. So öffneten sich die Abends zwischen 6 und 7 Uhr geschlossenen Blüthen von Taraxacum officinale und Leontodon hastilis Nachts zwischen 1 und 2 Uhr bei Erwärmung von 17 auf 27° C. etwa nur bis zur Hälfte, während andere zu gleicher Zeit geschlossene Blüthen derselben Art am folgenden Morgen um 6 Uhr durch eine gleiche Temperatursteigerung zu völligem Oeffnen gebracht wurden. Man wird nun auch leicht verstehen warum Blüthen von Taraxacum officinale, welche des Tags bei mässiger Dunkelheit und einer Temperatur von 10—11° C. gehalten, sich nur theilweise öffneten, am Abend bei Erwärmung eine partielle Oeffnung erfuhren, die, wie vergleichende Versuche zeigen werden, jedenfalls um so ansehnlicher ausfallen wird, je geringer die Blüthenbewegung während des Tages war.

Einfluss des Lichtes.

Schon aus dem bis dahin Mitgetheilten geht hervor, dass beim wiederholten Oeffnen und Schliessen der Blüthen Beleuchtung und Verfinsterung nicht ohne Bedeutung ist, was wir jetzt näher verfolgen wollen. Die völlige Entfaltung der Blüthen im Dunkeln wurde bekanntlich durch Sachs[1]) festgestellt, in welcher Beziehung das Licht aber zum wiederholten Oeffnen und Schliessen der Blüthen steht, hatte dieser Forscher nicht die Absicht zu entscheiden.

Sehr stark influirt Lichtentziehung auf Oeffnen und Schliessen der Blüthen von Bellis, bei welcher Pflanze sich bekanntlich allein die Zungenblüthen bewegen und zwar in einer unmittelbar über der Röhre liegenden Zone. Diese Blüthen haben ausserdem auch den Vortheil, dass ihre Blüthezeit 8 bis 14 Tage anhält. Die Blüthen von Bellis öffneten

1) Vgl. Experimentalphys. p. 33.

sich im August beim Stehen an einem Südfenster meist zwischen 7 und 8 Uhr Morgens und schlossen sich zwischen 5 und 6 Uhr Abends. Bei Lichtabschluss machte sich der Beginn der Oeffnung 1 bis 2 Stunden später bemerklich und erst um Mittag waren die Blüthen meist so weit geöffnet, dass die Strahlenblüthen Winkel von 100 bis 140 Grad miteinander bildeten. Des Nachts verminderte sich dieser Winkel nur um 2 bis 5 Grade und auch am folgenden Tage hielt sich die Bewegungsamplitude in diesen engen Grenzen. Während der Dauer dieser Versuche schwankte die um 18° C. sich haltende Temperatur im Laufe eines Tages höchstens um 2° C. Die Versuchsobjecte waren Topfpflanzen, welche durch doppelte schwarze Papprecipienten möglichst verdunkelt waren. In gleicher Weise verhielten sich aber auch Blüthen, welche in einen dunklen Kasten geführt wurden, während die Pflanze selbst am Lichte blieb, wobei freilich die Verdunklung nicht so weitgehend war und dem entsprechend die Bewegungsamplitude etwas grösser ausfiel, etwa 30 Grad betrug. Blüthenknospen in den schwarzen Pappkasten geführt, entfalteten sich hier und bewegten sich ganz so wie die als entfaltete Blüthen hineingebrachten Objecte. Der Versuchskasten musste hier natürlich kleinere Dimensionen haben und um Licht möglichst abzuschliessen wurde das zum Einbringen der Blüthen dienende Loch sorgfältig mit schwarzer Baumwolle verstopft. Kommen aber Blüthen, deren Bewegung im Dunkeln ein Minimum gewesen war, an's Licht, so kann ihre Oeffnung im Laufe des Tages eine ganz vollkommene werden und am Abend schliessen sich dann die plan ausgebreiteten Blüthen fast oder auch ganz vollständig. Die folgenden Tage wird Oeffnen und Schliessen von den dem Beleuchtungswechsel ausgesetzten Blüthen in ganz normaler Weise ausgeführt.

Abgepflückte und in Wasser gestellte Blüthen von Taraxacum officinale, Leontodon hastilis und Barkhausia rubra bewegen sich am Tageslicht gehalten ganz so, wie die mit der Pflanze in Verbindung gebliebenen Blüthen. Wurden aber diese Blüthen Abends durch schwarze Recipienten verdunkelt, so öffneten sie sich am folgenden Tage meist etwa bis zur Hälfte und blieben auch während der folgenden Nacht theilweise geöffnet. Des anderen Tages war die Bewegungsamplitude wohl noch geringer, während die an's Licht kommenden Blüthen sich wie die von Bellis verhielten, d. h. sich allmälig vollkommen öffneten und des Abends ziemlich vollständig schlossen, vorausgesetzt natürlich, dass sie noch nicht am Verblühen waren, wie das bei fast allen Blüthen von Taraxacum officinale der Fall war. Während dieser Versuche schwankte die Temperatur zwischen 16,5 und 17°,5 C., also in so ge-

ringem Grade, dass sie jedenfalls nicht im Stande war an diesen Compositenblüthen eine merkliche Bewegung hervorzurufen.

Die Blüthen von Oxalis rosea vermögen sich bei schon weitgehender Lichtentziehung noch fast vollkommen zu öffnen und zu schliessen, wenn dieselben aber in einem dunkeln Zimmer doppelt mit schwarzen Recipienten überdeckt waren, wurde die Bewegungsamplitude doch sehr vermindert.

Auch die Bewegungen der verdunkelten und auf gleicher Temperatur gehaltenen Blüthen von Tulipa und Crocus werden auf ein Minimum reducirt. Bei einem Versuche wurden 6 Crocusblüthen in ein mit Wasser umgebenes Gefäss gebracht und während $1^1/_2$ Tagen in einem möglichst gleich temperirten Zimmer gehalten, und schwankte in dieser Zeit die Temperatur der die Blüthen umgebenden Luft nur zwischen 16,7 und 17°,3 C. Die verschiedenen Blüthen zeigten an Gradbogen Distanzen der Perigonzipfel von 32 bis 60 Grad und während der Versuchszeit änderte sich diese Entfernung für dieselbe Blüthe im höchsten Falle um 9 Grad. In einem anderen Falle wurden Topfpflanzen von Crocus in's Dunkle gebracht als drei Knospen der Entfaltung nahe waren und nun während zwei Tagen fortwährend in einer zwischen 16,4 und 17°,7 C. sich bewegenden Temperatur gehalten. Während dieser Zeit öffneten sich die Blüthen nur so weit, dass die Perigonblätter eben von einander entfernt waren, eine Temperatursteigerung von 5° C. brachte aber nun im Laufe einer Viertelstunde eine vollkommene Oeffnung zu Stande. Demnach werden die Blüthen von Crocus bei vollkommener Lichtentziehung und bei völlig gleicher Temperatur voraussichtlich gar keine Bewegungen ausführen, oder wenigstens diese auf ein einfaches unvollkommenes Oeffnen und ein mit dem Verwelken Hand in Hand gehendes Schliessen reduciren. Das Oeffnen und Schliessen, welches Sachs[1]) an den im Dunkeln entfalteten Crocusblüthen beobachtete, wurde durch Temperaturschwankungen herbeigeführt, da die Morgens 8—9° betragende Wärme Mittags auf 12° stieg.

Eine plötzliche Lichtentziehung vermag an geöffneten Blüthen eine Schliessungsbewegung hervorzurufen. So wurde bei Calendula officinalis, Leontodon hastilis und Venidium calendulacea eine Annäherung von 6 bis 25 Grad an den an Gradbogen spielenden Zeigern abgelesen, als die im diffusen Lichte völlig geöffneten Blüthen von Morgens 11 bis 12 Uhr verdunkelt wurden, während welcher Zeit sich die Temperatur zwischen 19 bis 20° C. hielt. Eine vollkommene Schliessung gelingt

1) Botan. Zeitung 1863, Beilage p. 21.

freilich an diesen Blüthen in den Morgenstunden nicht, doch können dieselben einige Stunden früher als gewöhnlich, und oft ziemlich schnell zum Schliessen gebracht werden, wenn am Nachmittag das Licht ganz oder auch nur theilweise entzogen wird. Daraus erklärt es sich auch, dass, wie die auf Humboldt's Veranlassung angestellten Beobachtungen ergaben[1], bei der Sonnenfinsterniss am Nachmittag des 28. Juli 1851 die Blüthen von Compositen und anderen Pflanzen schon gegen $3^3/_4$ Uhr geschlossen waren. Auch Meyer's[2] bei dieser Gelegenheit gemachte Beobachtung, dass sich die Blüthen von Oxalis rosea und Bridgesii bei der Verfinsterung der Sonne schlossen, sich nachher aber auch nicht wieder öffneten, findet in dem Gesagten ihre Erklärung. Der weiteren Bemerkung dieses Autors, dass bei einem am folgenden Morgen angestellten Versuche dieselben Blüthen sich zwischen 10 und 11 Uhr schlossen, als sie in Schatten gestellt wurden, an volles Licht gebracht sich aber wieder öffneten, muss irgend ein Irrthum zu Grunde liegen, da wenigstens die Blüthen von Oxalis rosea in den Morgenstunden durch Verfinsterung wohl zu einer gewissen Schliessungsbewegung, nicht indess zu vollkommener Schliessung zu bringen sind.

Wir lernen hier bezüglich der Beeinflussung des Oeffnens und Schliessens der Blüthen von Compositen und von Oxalis durch Licht etwas ähnliches kennen, wie wir es früher für Wärmewirkung erfuhren. An den Tags über geöffneten Blüthen vermag am Nachmittag Lichtentziehung, so wie auch Temperaturabfall eine beschleunigte Schliessung herbeizuführen. Umgekehrt können sich diese Blüthen, des Morgens bei gleicher Temperatur einem hellen diffusen Lichte ausgesetzt, um einige Stunden früher öffnen, als andere, welche von nur gedämpftem Lichte getroffen werden. Wir erfuhren schon, wie, auch bei Lichtabschluss, eine Temperatursteigerung des Morgens das Oeffnen der geschlossenen Blüthen von Oxalis und von Compositen herbeizuführen vermag.

Auch an den für Temperaturschwankungen so empfindlichen Blüthen von Crocus und Tulipa wird durch Lichtentziehung eine Schliessungsbewegung, durch Beleuchtung umgekehrt eine Oeffnungsbewegung hervorgerufen. Bei den Versuchen wurden in bekannter Weise mit Drahtbogen und Zeigern versehene Blüthen in einem möglichst gleichförmig temperirten Zimmer unter eine grosse Glasglocke gestellt, unter der sich auch ein in $^1/_{10}$ Grade getheiltes Thermometer befand. Hatten die in hellem diffusem Lichte hinter einem Nordfenster postirten Blüthen

1) Bot. Zeitung 1851 p. 657.
2) Ebenda p. 577.

nach längerem Stehen im Laufe einer $^1/_4$ bis $^1/_2$ Stunde keine Bewegungen ausgeführt, so wurde durch Ueberstülpen eines schwarzen Papprecipienten verdunkelt. Durch Auflegen warmer Gegenstände auf diesen wurde die Temperatur unter der Glocke während der Dauer der Verdunklung allmälig um ein sehr geringes gesteigert, und verminderte sich entsprechend nach der Entfernung des Recipienten. In dieser Weise ausgeführt zeigen die Versuche mit aller Gewissheit, dass die bei Verdunklung beobachtete Schliessungsbewegung allein durch Lichtentziehung hervorgerufen wird, weil ja durch die geringe Temperatursteigerung umgekehrt eine leichte Oeffnungsbewegung angestrebt wurde.

Zu dem folgenden am 5. April 1872 ausgeführten Versuche dienten 4 Crocusblüthen und zwar gehörte Nr. 4 Crocus luteus, die übrigen Blüthen aber gehörten Crocus vernus an. Nachdem während 20 Minuten die Zeiger unverändert gestanden hatten wurde um 10 Uhr 40 Min. Morgens abgelesen und dann verdunkelt.

Um 10 Uhr 40 Min. Temp. 19°,4 C.

Nr. 1 = 50°
Nr. 2 = 48°
Nr. 3 = 54°
Nr. 4 = 45°.

Bei der Verdunklung bis 11 Uhr 10 Min. ($^1/_2$ Stunde) ist die Temperatur auf 19°,7 C. gestiegen. Die Ablesungen ergeben für:

Nr. 1 = 41°
Nr. 2 = 37°
Nr. 3 = 49°
Nr. 4 = 33°.

Die Blüthen kommen nun von 11 Uhr 10 Min. bis 11 Uhr 40 Min. an's Licht, die Temperatur sinkt auf 19°,5 C. Abgelesen wird nach dieser halbstündigen Beleuchtung für

Nr. 1 = 46°
Nr. 2 = 44°
Nr. 3 = 53°
Nr. 4 = 41°.

Ein in gleicher Weise mit 4 Tulpenblüthen ausgeführtes Experiment gab ein analoges Resultat, doch fiel hierbei die Bewegungsgrösse des Perigons durchschnittlich etwas geringer als bei Crocus aus. Indess darf hieraus noch nicht auf eine weniger intensive Bewegung der Tulpenblüthen in Folge von Beleuchtungswechsel geschlossen werden, denn wenn auch eine solche wohl möglich ist, so konnten die kleinen

beim Versuch gefundenen Differenzen doch auch von den in beiden Fällen voraussichtlich nicht gleichen Beleuchtungswechsel und anderen Verhältnissen, wie z. B. der Temperatur veranlasst werden.

Werden die Blüthen von Oxalis valdiviana, Calendula, Leontodon, Venidium und anderen Compositen directer Sonne ausgesetzt, so ist an den völlig geöffneten Blüthen eine Schliessungsbewegung zu bemerken, die entweder ganz gering bleibt oder auch ansehnlicher werden kann. Royer[1]), welcher dieses schon bemerkte, erklärt diese Blüthenbewegung durch eine gesteigerte Transpiration, doch dürfte dieses wenigstens die einzige Ursache nicht sein, da die vorgenannten Blüthen die Schliessungsbewegungen auch unter einer mit Wasser abgesperrten und nur mässig intensiven Sonnenstrahlen ausgesetzten Glocke ausführten. Ob hier die Ueberschreitung eines Lichtoptimums im Spiele ist, oder ob andere Ursachen zu Grunde liegen, müssen weitere Untersuchungen zeigen.

Die Wachsthumsfähigkeit der Bewegungszone der Blüthen beruht auf einer historisch gegebenen Eigenschaft[2]), ebenso auch die Eigenthümlichkeit zahlreicher Blüthen den auf äussere Einflüsse mit beschleunigtem Wachsthum antwortenden Zustand erst nach einiger Zeit wieder herzustellen. Sind die allgemeinen Wachsthumsbedingungen gegeben, dann kommt, auch bei constanter Temperatur und bei Lichtabschluss, eine specifisch verschiedene Entfaltung der Blüthen zu Stande, wie wir u. a. bei Bellis perennis erfuhren, deren Blüthenknospen sich unter solchen Verhältnissen entfalten, um dann auf mittlerer Oeffnungsweite zu verharren. Diese Entfaltung kommt freilich auch durch ein ungleichseitig gefördertes Wachsthum zu Stande und wie bei manchen sich nicht wiederholt öffnenden und schliessenden Blüthen nach dem vollkommenen Aufblühen wieder eine mehr oder weniger weit gehende Schliessung eintritt, so ist es auch möglich, dass wiederholt sich öffnende Blüthen Hand in Hand gehend mit den verschiedenen Entwicklungsstadien ihre Oeffnungsweite in analoger Weise ändern. Solche Bewegungen, die sicher vorkommen, würden zu den historisch gegebenen Eigenthümlichkeiten der Pflanze gehören, das gewöhnlich sich täg-

1) Annal. d. sc. natur. l. c. p. 348.
2) Vgl. Sachs, Lehrbuch III. Aufl. p. 681.

lich wiederholende Oeffnen und Schliessen der Blüthen hingegen, scheint nach unseren Untersuchungen ganz allein durch Temperatur- und Beleuchtungswechsel bedingt zu sein.

Es ist mitgetheilt, wie die Blüthen von Bellis perennis, nachdem sie mittlere Oeffnungsweite angenommen hatten, bei constanter Temperatur und in möglichster Dunkelheit während 24 Stunden so minimale Bewegungen der Strahlenblüthen zeigten, dass man Oeffnen und Schliessen als thatsächlich aufgehoben ansehen muss. Denn die gegenseitige Annäherung oder Entfernung der Zungenblüthen um 2 bis 5 Grad kann durch nicht absolute Lichtentziehung und nicht völlige Gleichhaltung der Temperatur oder die vorhin namhaft gemachte historisch gegebene Nutationsbewegung veranlasst sein, oder endlich in einer durch Entfaltung der Röhrenblüthen und das Wachsthum des Blüthenbodens hervorgerufenen Lagenänderung der Strahlenblüthen ihre Erklärung finden. Auch die Blüthen von Barkhausia rubra, Leontodon hastilis und anderen Compositen, sowie die Blüthen von Crocus führten, im Dunkeln und bei constanter Temperatur gehalten, nur sehr geringe Bewegungen aus und wenn bei Oxalis rosea unter gleichen Verhältnissen ein zwar sehr vermindertes, doch noch ansehnliches Oeffnen und Schliessen stattfand, so wird man hier in dem nicht völligen Lichtabschluss die Erklärung suchen müssen. Bei dieser Pflanze, wie überhaupt allen die nur zwei bis drei Tage blühen, treten aber auch die von äussern Einflüssen unabhängigen Nutationsbewegungen der Beobachtung störend in den Weg. So schliessen sich z. B. die dem Abblühen entgegengehenden Blüthen von Taraxacum officinale.

Nach dem Mitgetheilten wird man das wiederholte Oeffnen und Schliessen der Blüthen als nur durch äussere Verhältnisse, durch Beleuchtungs- und Temperaturwechsel bedingt ansehen müssen, wodurch das beschleunigte Wachsthum je eines der antagonistischen Gewebecomplexe hervorgerufen wird. Gegen eine von äusseren Verhältnissen unabhängige tägliche Periode des Wachsthums von Internodien hat sich auch Sachs[1]) in neuester Zeit ausgesprochen. Thatsache ist in jedem Falle, dass Oeffnen und Schliessen der Blüthen durch Beleuchtung und Wärme im höchsten Grade beeinflusst wird und man könnte überhaupt nur daran denken, dass nebenbei noch eine von äusseren Verhältnissen unabhängige, sich täglich wiederholende Bewegung der Blüthen existirte. Für eine solche liefern die in der Natur an Crocus und anderen in sehr hohem Grade von Temperaturschwankungen beeinflussten Blüthen zu

1) Lehrbuch III. Aufl. p. 717.

machenden Beobachtungen überhaupt keinen Anhaltspunct, da man solche Blüthen, wie aus meinen mitgetheilten Versuchen schon zu entnehmen ist, auch Tags über geschlossen finden und Abends sich öffnen sehen kann, wenn zu dieser Zeit nach einem kalten Tage eine Temperaturerhöhung eintritt. An anderen Blüthen, wie denen der Compositen, beobachtet man freilich ein täglich sich wiederholendes Oeffnen und Schliessen, doch habe ich gezeigt, wie sich die Oeffnungszeit dieser Blüthen umkehren und allein durch Temperaturschwankungen hervorrufen lässt. Hierin aber liegt ein weiteres wichtiges Argument gegen eine autonome tägliche Periode der Blüthenbewegung.

Wie ich zeigte, bedarf es bei den Blüthen der Compositen, übrigens auch denen von Oxalis sp., Mesembryanthemum sp. und Nymphaea alba einer gewissen Ruhezeit, ehe in der Bewegungszone auf's Neue ein beschleunigtes Wachsthum durch äussere Verhältnisse hervorgerufen werden kann. Dadurch ist denn freilich dafür gesorgt, dass diese in hohem Maasse durch Beleuchtungsdifferenzen beeinflussten Blüthen, nachdem sie einmal sich geöffnet hatten, mit dem Tageswechsel Oeffnung und Schliessung wiederholen. Diese Bewegungen stehen aber für dieselbe Blüthe bei unseren Antipoden in gleicher Beziehung zu den Tageszeiten als bei uns und eine eventuelle autonome tägliche Periodicität müsste jedenfalls durch die mit dem Tageswechsel sich ändernden Verhältnisse, in erster Reihe also durch Beleuchtung, bedingt oder zeitlich regulirt sein. Unsere Versuche sprechen aber dagegen, dass durch Beleuchtung eine tägliche Periode des Oeffnens und Schliessens inducirt wird oder eine in entsprechendem Rythmus sich wiederholende Blüthenbewegung historisch gegebene Eigenthümlichkeit der Pflanze sei.

Abends findet an den Tags geöffnet gewesenen Blüthen der Compositen und mancher anderer Pflanzen, wie ich nachwies, auf Temperatursteigerung nur eine sehr geringe Oeffnungsbewegung statt, obgleich doch der diese Bewegung vermittelnde antagonistische Gewebecomplex seit vielleicht 12 Stunden kein beschleunigtes Wachsthum ausführte. Da die Blüthen gegen Morgen sich aber durch eine gleiche Erwärmung gänzlich öffnen lassen, so kann die Wiederherstellung des so zu sagen labilen Gleichgewichtes in den Zellen der antagonistischen Gewebe nicht proportional der Zeit vor sich gehen. Ob nun diese Wiederherstellung gleich nach dem beschleunigten Wachsthum langsam beginnt oder ihren Anfang überhaupt erst nach längerer Zeit nimmt, kann ich nicht bestimmt sagen. Freilich wird auch Abends durch Temperatursteigerung eine geringe Oeffnungsbewegung hervorgerufen, allein es

könnte diese auch auf der nicht völlig ausgenutzten Wachsthumsfähigkeit der Zellen des fraglichen antagonistischen Gewebes beruhen, indem ja auch eine am Tage völlig geöffnete Blüthe durch Steigerung der Helligkeit sich noch ein wenig mehr öffnet [1]). Die Blüthen von Crocus und Tulipa reagiren freilich zu jeder Tageszeit wiederholt auf Beleuchtungs- und Temperaturwechsel und hiernach möchte es allerdings wahrscheinlicher erscheinen, dass auch bei Compositenblüthen die Wiederherstellung des wachsthumsfähigen Zustandes sogleich wieder beginnt, jedoch anfangs sehr langsam fortschreitet.

Nachdem ich schon früher gezeigt habe, dass an normal turgescirenden Blüthen Feuchtigkeitsänderungen in dem umgebenden Medium keine bemerkliche Bewegung hervorzurufen vermögen, bleiben uns Wärme und Licht als die einzigen Motoren des Oeffnens und des Schliessens der Blüthen, übrig, wobei jedoch nicht zu vergessen ist, dass an etwas gewelkten Blüthen Wasserzufuhr gewisse Bewegungen hervorrufen kann, welche ich nicht näher kennen zu lernen suchte. An eine Beeinflussung der Blüthenbewegungen durch Aenderungen des Luftdruckes wird man von vornherein nicht denken, doch sei hier bemerkt, dass sowohl bei langsamerem als etwas schnellerem Evacuiren des Recipienten einer Luftpumpe die Blüthen von Crocus, Tulipa und Taraxacum keine auffallende Bewegung ausführen [2]). Hierdurch wird auch der aus andern Gründen unhaltbare Gedanke sofort widerlegt, dass eine Ausdehnung der in den Intercellularräumen enthaltenen Luft vielleicht bei dem auf Temperatursteigerung erfolgenden Oeffnen betheiligt sein möchte, weil ja dann auch bei Luftverdünnung die entsprechende Blüthenbewegung zu Stande kommen müsste.

Die Bewegungen der Blüthen werden, wie wir schon öfters hörten, durch Wärme und Licht in einem für die verschiedenen Pflanzenarten ungleichem Maasse beeinflusst. Oeffnen und Schliessen der Blüthen von Crocus, Tulipa u. a. hängen im höchsten Grade von Wärmeverhältnissen ab und eine leichtere Temperaturschwankung vermag eine durch selbst bedeutenden Helligkeitswechsel angestrebte entgegengesetzte Bewegung völlig zu eliminiren. So brachte ich z. B. Crocusblüthen in einen um 2° C. wärmeren Raum, während sie zugleich ver-

---

1) Schneidet man an geöffneten Crocusblüthen alle Perigonzipfel bis auf einen hinweg, so kann dieser nun nicht mehr in seiner Schliessungsbewegung aufgehaltene Zipfel sich soweit über die Blüthenachse hinaus bewegen, dass er gegen diese beinahe senkrecht gestellt ist.

2) Vergl. auch Hoffmann, Annal. d. sc. naturell. III. Ser., Bd. XIII, 1849 p. 319.

dunkelt wurden. Obgleich hier durch die Entziehung eines sehr hellen Tageslichtes eine Schliessungsbewegung inducirt wurde, so reichte doch die Temperatursteigerung um 2° C. völlig aus, nicht nur um jener das Gleichgewicht zu halten, sondern sogar noch eine merkliche Oeffnungsbewegung hervorzurufen, die natürlich als Differenz der beiden entgegengesetzten Bestrebungen geringer gewesen sein wird, als die Oeffnungsbewegung, welche dieselbe Wärmezunahme bei gleichbleibender Beleuchtung an unseren Blüthen veranlasst haben würde. Bei dem so ganz dominirenden Einfluss der Wärmeverhältnisse wird auch das Oeffnen und Schliessen der Blüthen der im Freien wachsenden Pflanzen von Crocus, Tulipa u. a. wesentlich von dem Temperaturgang abhängen. Gewöhnlich darf man deshalb Oeffnung am Morgen und Schliessung gegen Abend erwarten, wenn aber während des Tages die zuvor gestiegene Temperatur sinkt, so wird dem entsprechend eine Schliessung stattfinden, wie das unter solchen Umständen im Freien thatsächlich beobachtet wird, wo man auch Aufblühen am Abend bemerken kann, wenn zu dieser Zeit eine Temperaturerhöhung sich geltend macht. Auch durch Beschattung der zuvor von den Sonnenstrahlen getroffenen Blüthen werden Schliessungsbewegungen hervorgerufen.

Bei den Blüthen der Compositen, sowie denen von Nymphaea, Oxalis rosea, Mesembryanthemum echinatum und cordifolium vermag ein selbst ansehnlicher Temperaturabfall nicht die durch Helligkeitszunahme hervorgerufene Oeffnungsbewegung und eine Wärmesteigerung nicht die durch Beleuchtungsverminderung veranlasste Schliessungsbewegung aufzuhalten, welche beide hier freilich nur nach gewisser Ruhezeit in ausgiebiger Weise zu Stande kommen. Hier werden die Blüthenbewegungen hauptsächlich vom Beleuchtungswechsel beherrscht, durch den auch die Zeit des Oeffnens und Schliessens der Blüthen in erster Reihe bestimmt wird. Dabei sind aber die Wärmeverhältnisse doch von Bedeutung und machen ihren Einfluss sowohl bezüglich der Zeit, als auch der Schnelligkeit und der Ausgiebigkeit des Oeffnens geltend. Alle Blüthen öffnen sich überhaupt gar nicht, wenn nicht das specifische Temperaturminimum überschritten wird und wenn dieses in geringerem Maasse geschieht, vermag auch Beleuchtung nur eine kleinere Bewegung hervorzurufen und um so mehr bleiben die Blüthen dann geschlossen, je weniger hell das Tageslicht ist. So öffnen sich z. B. die Blüthen von Taraxacum officinale bei 9° C., und ansehnlicher Lichtentziehung fast gar nicht, bei hellem diffusem Lichte kommt aber eine merkliche partielle Oeffnung zu Stande.

Die eben auseinandergesetzten Gesichtspuncte erklären uns nun auch vollkommen das Verhalten der Compositenblüthen und der in ähnlicher Weise von äusseren Einflüssen abhängigen Blüthen im Freien. Wir wissen hiernach weshalb die Blüthenbewegungen sich im Allgemeinen nach dem Wechsel von Tag und Nacht richten und das Oeffnen mit der Verkürzung der Tage gewöhnlich zu späteren Stunden eintritt. Greifen trübes Wetter und niederere Temperatur zusammen, so kann das Oeffnen um Stunden später erfolgen und überhaupt unvollkommen werden, ja vielleicht ganz unterbleiben, was an kühleren Herbsttagen häufig beobachtet werden kann[1]. Dass eine Helligkeitsabnahme ein frühzeitigeres Schliessen der Blüthen hervorzurufen vermag, hatte ich schon früher Gelegenheit mitzutheilen[2] und auch ein stärkerer Temperaturabfall wird in gleichem Sinne wirken. Das ungleichzeitige Oeffnen der Blüthen verschiedener Pflanzenarten wird vorzüglich von der ungleichen Empfindlichkeit gegen Helligkeitsdifferenzen abhängen, doch auch die Lage des specifischen Temperaturminimums und die Zeit, welche nöthig ist, um in dem entsprechenden antagonistischen Gewebe den eines beschleunigten Wachsthums fähigen Zustand wieder herzustellen, werden je nach Umständen eine grössere oder geringere Rolle spielen. Feuchtigkeitsschwankungen der Erde und der Luft haben, sofern die Pflanzen nicht Mangel an Wasser litten, für die Blüthenbewegungen keine merkliche Bedeutung[3]. Dahingegen vermögen, wie früher mitgetheilt ist, directe Sonnenstrahlen eine Schliessungsbewegung an den Blüthen der Compositen von Oxalis und voraussichtlich auch anderen Pflanzen zu veranlassen.

Wenn es uns gelang Blüthen von Compositen im Dunkeln des Tags über geschlossen zu halten und am Abend durch Temperatursteigerung zu öffnen, so wird eine solche Umkehrung der Blüthezeit ebenso vollkommen durch künstliche Beleuchtung zu erzielen sein. Dieses ist de Candolle[4] thatsächlich auch mit den Blüthen von Mesembryanthemum noctiflorum und Meyen[5] mit Mesembryanthemum und Oxalis

---

1) Vergl. Royer, l. c. p. 352.

2) Diese Arbeit p. 201.

3) Die schon während der Blüthezeit durch Feuchtigkeitswechsel zu Stande kommenden Bewegungen des Involucrums von Carlina und Helichrysum-Arten ist ein einfaches hygroskopisches Phänomen abgestorbener Gewebe. Auf gleicher Ursache beruhende Bewegungen sind auch an dem Involucrun abgeblühter Köpfchen vieler Compositen in geringerem oder höherem Grade zu bemerken. Vgl. auch Royer, l. c. p. 363.

4) Mémoir. d. savans étrang. d. l'institut etc. 1806, Bd. I p. 341.

5) Pflanzenphysiologie Bd. III, 1839 p. 495.

tetraphylla gelungen. Mit anderen Blüthen, auch mit solchen von Compositen durch de Candolle angestellte Experimente ergaben zwar eine Beeinflussung des Oeffnens und Schliessens durch die während der Nacht angewandte künstliche Beleuchtung, ohne dass aber eine völlige Umkehrung des Aufblühens erzielt wurde, welche indess bei richtig geleitetem Experimente ohne allen Zweifel gelingen wird. Man muss hier aber vor allen Dingen dem von mir nachgewiesenen Factum Rechnung tragen, dass die antagonistischen Gewebe bei vielen Blüthen erst nach längerer Zeit wieder zu beschleunigtem Wachsthum angeregt werden können. Aus diesem Grunde werden Blüthen, welche des Tags zuvor geöffnet waren, in der folgenden Nacht bei künstlicher Beleuchtung sich nur allmälig und meist wohl nur sehr unvollkommen öffnen lassen und die Unkenntniss dieses Punctes dürfte die Ursache sein, weshalb ein Theil von de Candolle's Experimenten kein befriedigendes Resultat gab. Dass de Candolle an den Blüthen von Ornithogalum umbellatum keine Beeinflussung durch nächtliche Beleuchtung erzielen konnte, wird uns ganz begreiflich erscheinen, da die Bewegungen der Blüthen dieser Pflanze in dominirender Weise von Temperaturschwankungen beeinflusst werden und sich deshalb in gewohnter Weise vollziehen können, wenn nicht für völlig constante Temperatur Sorge getragen wird, was bei de Candolle's Experimenten wohl nicht der Fall gewesen sein dürfte. Meine vorstehenden Bemerkungen beziehen sich natürlich nur auf sich wiederholt öffnende und schliessende Blüthen, welche de Candolle in den Kreis seiner Untersuchungen zog, nicht auf die nur einmal aufblühenden und unter Verwelken sich schliessenden Blumen, welche der eben genannte Autor gleichfalls künstlicher Beleuchtung während der Nacht aussetzte.

Eine nahe liegende Frage ist es, ob das Aufblühen der sich nicht wiederholt öffnenden und schliessenden Blüthen auch von äusseren Verhältnissen beeinflusst wird. Bedenken wir, dass manche dieser Blüthen gewöhnlich zu gewissen Tageszeiten aufblühen, Convolvulus tricolor z. B. in den Morgenstunden, Mirabilis Jalapa in den Abendstunden und dass bei letzterer de Candolle[1]) durch künstliche Beleuchtung während der Nacht und Verdunklung am Tage die Zeit des Oeffnens und Schliessens umkehren konnte, so werden wir allerdings eine gewisse Betheiligung, zunächst des Lichtes, beim Aufblühen vermuthen dürfen. Indess ist anzunehmen, dass bei diesen, wie auch anderen Blüthen ein einmaliges Aufblühen, wenigstens bis zu gewissem Grade, immer auch

1) L. c. p. 339.

durch innere, historisch gegebene Ursachen erfolgt, durch äussere Einflüsse aber eventuell verfrüht oder verspätet und auch seiner Amplitude nach bestimmt werden wird. Das Aufblühen anderer sich nur einmal öffnender Blüthen wird vielleicht von Temperatur- und Helligkeitsschwankungen in einer der Beobachtung sich entziehenden Weise beeinflusst; ob dieses der Fall ist und wie weit überhaupt das Oeffnen sich nicht wiederholt bewegender Blüthen von den genannten Imponderabilien abhängig ist, müssen fernere Untersuchungen entscheiden.

Es ist wohl kaum daran zu zweifeln, dass manche der bewegungslos scheinenden Blüthen doch in Folge von Temperatur- und Beleuchtungswechsel geringe Situationsbewegungen ausführen, auch scheint es nach Angaben Royer's [1]), dass bei sonst ephemeren Blüthen in Folge verlängerter Blüthezeit ein wiederholtes Oeffnen und Schliessen sich einfinden kann. Ich hatte diese Puncte bei meinen Untersuchungen nicht im Auge und da ich nur die Bedingungen des Oeffnens und Schliessens kennen zu lernen suchte, so achtete ich auch nicht speciell auf die Verbreitung der wiederholte Nutationsbewegungen ausführenden Blüthen im Pflanzenreich. Ich will hierüber deshalb im Folgenden nur einige allgemeine Andeutungen geben, die sich auf die eigenen beiläufigen Beobachtungen stützen und sich wohl auch an die von Royer [2]) gelieferte Zusammenstellung von bewegungsfähigen und unbeweglichen Blüthen anlehnen, welche ich, soweit ich prüfen konnte, zuverlässig fand.

In derselben Pflanzenfamilie begegnen wir ganz gewöhnlich Blüthen, welche sich wiederholt und nur einmal öffnen; so bei den Compositen, wo Zinnia elegans, Aster-Arten u. a. unbewegliche Blüthen besitzen, während anderen, verschiedenen Abtheilungen dieser Familie angehörigen Pflanzen, namentlich auch fast allen Cichoriaceen (vgl. Royer p. 361) wiederholt nutirende Blüthen zukommen. Unter den Liliaceen hat Anthericum Liliago ephemere Blüthen, während die Blüthen von Ornithogalum umbellatum sich mehrmals öffnen und die von Ornithogalum pyrenaicum nach Royer unbeweglich sind. Auch im Genus Solanum finden sich nach Royer schlafende und nicht schlafende Blüthen.

Wenn wir von den Compositen absehen, so treffen wir die Blüthenbewegung hauptsächlich an einzelnen Blumenblättern oder an den Zipfeln tief getheilter Blüthen an, doch scheinen unter den polypetalen Pomaceen und Amygdaleen schlafende Blüthen nicht vorzukommen. Die

---

1) L. c. p. 351.
2) L. c. p. 361.

Compositen führen die entsprechenden Bewegungen in einer beschränkten Zone der Lamina oder auch in der Röhre der Zungenblüthen aus. Von monopetalen Blüthen aber, welche am Abend die nicht getheilte Corolle zusammenfalten, nennt Royer Solanum tuberosum und Specularia hybrida, an denen ich versäumte Beobachtungen anzustellen. Bei unregelmässigen Blüthen scheinen, ausser bei den zahlreichen Compositen, Blüthenbewegungen selten zu sein, wenigstens nennt auch Royer hier nur Medicago lupulina und maculata.

Beiden Kreisen der Perigonblätter kommen bei Crocus, Tulipa und ähnlichen Blüthen Bewegungen zu, während bei Galanthus nivalis die drei inneren kurzen Perigonzipfel bewegungslos sind. Bei den näher darauf angesehenen Dicotylen, wie bei Ficaria, Anemone, Oxalis, Malope trifida habe ich immer nur an der Blumenkrone Bewegungen gefunden, durch welche der Kelch passiv mitbewegt werden kann. Ebenso verhält es sich auch mit dem Involucrum von Taraxacum, Leontodon und anderen Compositen, welches nach Entfernung der Blüthen keine Bewegungen mehr ausführt [1].

Auf diese Andeutungen beschränke ich mich hier, da es, wie ich schon bemerkte, nicht meine Absicht war, die Verbreitung und die besonderen Eigenthümlichkeiten der sich wiederholt öffnenden und schliessenden Blüthen zu verfolgen. Aufmerksam sei hier noch darauf gemacht, dass es noch unbekannt ist, ob die Nutationsbewegungen von Geschlechtsorganen unabhängig von äusseren Einflüssen ausgeführt werden. Auf die am Morgen und Abend nach Morren in bestimmter Weise sich bewegenden Staubfäden von Sparmannia [1]) kann man sich hier nicht wohl beziehen, da es erst entschieden werden muss, ob wir es bei diesen reizbaren Staubfäden mit Nutationskrümmungen oder mit periodischen Bewegungen zu thun haben.

Die Untersuchungen über Oeffnen und Schliessen der Blüthen haben uns mit einer Beeinflussung des Wachsthums durch Licht und Wärme bekannt gemacht, welche in ihrer Art einzig dasteht. Es ist bekannt, dass Wachsthum nur oberhalb eines specifischen Temperaturminimums

1) Vgl. Royer, p. 363. — Hofmeister's gegentheilige Angabe (Pflanzenzelle p. 299) kann ich nicht bestätigen.

2) Réch. sur le mouv. du Sparmannia in Mém. de l'Acad. d. Bruxelles 1841 p. 18 d. Separatabzuges.

möglich ist und um so schneller verläuft, je näher dem Optimum die Temperatur der umgebenden Medien gehalten wird. Während in bis dahin bekannten Fällen die wachsenden Organe bei schwankender Temperatur sich langsamer, als bei constant gehaltenen Wärmegraden zu verlängern scheinen[1]), wird in der Bewegungszone der Blüthen gerade durch Temperaturschwankungen eine Förderung des Wachsthums hervorgerufen, doch so, dass die eine der antagonistischen Hälften auf Erhöhung, die andere auf Senkung der Temperatur mit beschleunigtem Wachsthum antwortet. Eine Erklärung dieses merkwürdigen Verhaltens ist im Augenblick ebenso wenig möglich, wie eine Erklärung der Mechanik des Wachsens selbst, doch wird es wenigstens nicht überflüssig sein, darauf aufmerksam zu machen, dass die Ursache des polar entgegengesetzten Verhaltens der beiden antagonistischen Gewebe nicht auf eine ungleiche Lage des Temperaturoptimums zurückgeführt werden kann. Läge dieses Optimum für eine der Gewebehälften sehr tief, so würde eine Senkung der Temperatur hier eine Annäherung an die optimale Wachsthumstemperatur mit sich bringen, so wie dieses bei höher liegendem Temperaturoptimum der anderen antagonistischen Hälfte durch eine Wärmesteigerung innerhalb derselben Temperaturgrenzen erreicht würde und in beiden Fällen käme dann Beschleunigung des Wachsthums durch eine gegen das Optimum hinzielende Temperaturschwankung zu Stande. Eine solche Ansicht ist indess, wie uns das Verhalten der Blüthen bei den dicht über dem zur Bewegung nöthigen Minimum liegenden Wärmegraden zeigt, unhaltbar. So bewirkt eine Senkung von 10° C. auf 8° C., bei welcher Temperatur das Minimum liegt, an den Blüthen von Crocus eine Schliessungsbewegung und die geringe Amplitude dieser zeigt zur Genüge, dass für die äussere antagonistische Hälfte, welche auf Temperaturabfall beschleunigtes Wachsthum beginnt, bei so geringer Wärme weniger günstige Wachsthumsverhältnisse, als bei höherer Temperatur gegeben sind.

Eine Zunahme oder Abnahme der Helligkeit wirkt auf Beschleunigung der einen oder der anderen der beiden antagonistischen Hälften, wie schon mitgetheilt wurde, in demselben Sinne, wie eine Steigerung oder Verminderung der Temperatur. War bis dahin nur eine Verlangsamung des Wachsthums durch zunehmende Helligkeit bekannt[2]), so lernen wir bei den Blüthen also auch Gewebe kennen, welche durch Zunahme der Beleuchtung zu beschleunigtem Wachsthum veranlasst

---

1) Köppen, Wärme und Pflanzenwachsthum 1870. Vgl. auch Sachs, Lehrbuch III. Aufl. p. 742.

2) Vgl. Sachs, Lehrbuch III. Aufl. p. 745.

werden. Aber auch darin stehen unsere Blüthen einzig da, dass Steigerung, resp. Abnahme von Beleuchtung und Temperatur ganz gleichsinnig das Wachsthum je einer der beiden antagonistischen Hälften beeinflussen. In wie weit hier eine Vergleichung mit anderen Pflanzenorganen möglich ist, kann zur Zeit nicht beurtheilt werden, da bezüglich der Temperaturschwankungen nur eine Verlangsamung des Wachsthums von Wurzeln sicher bekannt ist. Das bei erhöhter und constant erhaltener Temperatur stattfindende schnellere Wachsthum von Internodien, Wurzeln und andern Pflanzenorganen ist natürlich nicht mit dem beschleunigten Wachsthum zu vergleichen, welches in Gewebecomplexen der Bewegungszone der Blüthen gerade erst durch die Temperaturexcurse hervorgerufen wird. Auch in der bewegungsfähigen Partie der Blüthen geht bei constanter höherer Temperatur das Wachsthum offenbar weit schneller vor sich, als bei constanten niedereren Wärmegraden, wie daraus zu entnehmen ist, dass, wenn auch durch gleichzeitige Lichtentziehung die Büthenbewegungen auf ein Minimum reducirt sind, die Blüthezeit doch kürzere Zeit bei höherer, als bei tieferer Temperatur andauert.

Aus unseren Untersuchungen folgt mit aller Evidenz, dass das Wachsthum der Zellen der antagonistischen Hälften der Bewegungszone der Blüthen in gerade entgegengesetzter Weise von Licht- und Wärmeschwankungen beeinflusst wird, dass die einen Zellen in Folge einer Steigerung, die anderen in Folge einer Senkung der Temperatur ein beschleunigtes Wachsthum beginnen. Eine weitere nothwendige Folgerung ist, dass, wenn Zunahme, resp. Abnahme der Wärme eine Acceleration des Wachsthums hervorruft, umgekehrt Abnahme, resp. Zunahme der Temperatur das Wachsthum verlangsamen muss [1]). Dieses findet auch in den früher mitgetheilten, mit Crocusblüthen angestellten Versuchen seine Bestätigung, welche zeigen, dass durch eine entgegengesetzte Temperaturschwankung die Blüthenbewegung schnell umgekehrt werden kann, da ja die Bewegungen ein Reagens für das relative Wachsthum der antagonistischen Hälften sind. Unter Erwägung dieser Umstände müssen wir uns für die Annahme entscheiden, dass die Krümmung in der Bewegungszone durch beschleunigtes Wachsthum nur einer antagonistischen Hälfte zu Stande kommt und die Verlängerung, welche Zellen der anderen Hälfte erfahren, eine rein passive ist. Freilich werden in Folge der passiven Dehnung und dem Maasse dieser

1) Bei Aufwärtskrümmung horizontal gelegter Sprosse unter dem Einfluss der Schwerkraft wird, wie Sachs zeigte, das Wachsthum der convex werdenden Seite gesteigert, das der concav werdenden aber verlangsamt. Arbeiten d. bot. Instituts in Würzburg Heft II, 1872 p. 193; Lehrbuch d. Botanik III. Aufl. p. 752.

entsprechend, die Zellen ein thatsächliches Wachsthum ausführen [1]), das also um so ansehnlicher ist, je näher die Zellen der activ wachsenden antagonistischen Hälfte liegen. Auch wird auf der dieser zugewandten Seite die Wandung der gekrümmt werdenden Zelle etwas stärker als auf der abgewandten Seite wachsen. Durch denselben Temperaturexcurs, welcher die Zellen der einen Hälfte zu beschleunigtem Wachsthum anregt, muss nach Obigem das Wachsthum der Zellen der anderen Hälfte aufgehalten, aber natürlich nicht aufgehoben werden. Letzteres ist wohl zu beachten, denn daraus erklärt es sich, dass unsere Messungen öfters auf minimale Verlängerungen der Aussenfläche der passiven Seite, nie aber auf eine Verkürzung deuten, da in dieser Richtung der Messungsfehler niemals überschritten wurde.

Das eben Gesagte gilt ebensowohl für die in unmittelbarem Verband stehenden antagonistischen Gewebe, wie sie die Bewegungszone der Blüthen von Crocus, Calendula aufzuweisen hat [2]), wie auch für die Compositenblüthen, bei denen, wie bei Taraxacum, eine innere und äussere Hälfte der sich einkrümmenden Röhre in Antagonismus stehen. Der anatomische Befund liefert in keinem Falle einen Anhaltspunct für das entgegengesetzte Verhalten der antagonistischen Gewebe gegen Licht- und Temperaturdifferenzen und auch die Anatomie bewegungsloser und wiederholt sich öffnend und schliessender Blüthen kann ganz übereinstimmend gefunden werden. Auch mit dem anatomischen Bau positiv und negativ heliotropischer und geotropischer Organe verhält es sich ja in gleicher Weise. Bemerkt mag auch noch werden, dass bei den wiederholt nutirenden Blüthen meist, aber keineswegs immer, die Innenseite der Bewegungszone die auf Steigerung von Temperatur und Helligkeit beschleunigt wachsende ist. So z. B. nicht bei Pyrethrum corymbosum, dessen am Tag plan ausgebreitete Strahlenblüthen sich Abends rückwärts schlagen und sich bei grosser Bewegungsamplitude dem Stiel des Blüthenköpfchens anlegen.

Die Existenz von Zellen deren Wachsthum durch Temperatur- und Beleuchtungswechsel in gerade entgegengesetzter Weise beeinflusst wird, ist für die Blüthen nach meinen Untersuchungen sicher gestellt und werden wir nunmehr um so weniger Anstand nehmen, auch den negativ und positiv heliotropischen Organen sich polar entgegengesetzt verhaltende Zellen zugestehen, von denen die einen durch Licht im Län-

---

1) Vgl. Sachs, Lehrbuch III. Aufl. p. 688.

2) Ob die Gefässbündel gerade die Grenzscheide zwischen den beiden antagonistischen Geweben bilden, und in welcher Weise die verschiedenen Zellen und Zellformen am Wachsthum betheiligt sind, ist eine noch offene Frage.

genwachsthum gehindert, die andern hingegen darin gefördert werden, wie auch Sachs[1]) diese Annahme noch jüngst als die am meisten sich empfehlende bezeichnete. Die Beziehungen des Lichtes zu den heliotropischen Krümmungen und den Blüthenbewegungen sind aber wohl auseinanderzuhalten. Denn während die heliotropischen Krümmungen auch bei constanter einseitiger Beleuchtung zu Wege kommen und von dieser ihrer Richtung nach bestimmt werden, sind es gerade Schwankungen der Helligkeit, welche die Blüthenbewegungen hervorrufen, die in keiner Beziehung zur Einfallsrichtung des Lichtes stehen. In analoger Weise verhält es sich auch mit der Beziehung der Wärme zu den Blüthenbewegungen. Den heliotropischen entsprechende Krümmungen würden aber wohl sicherlich dadurch zu erreichen sein, dass man die eine Seite eines wachsenden Internodiums stärker, als die andere erwärmt hielte, wobei ich natürlich das Optimum nicht überschreitende Temperaturgrade im Auge habe.

An eine Erklärung des gerade entgegengesetzten Verhaltens der Zellen in der Bewegungszone der Blüthen gegen Schwankungen von Temperatur und Licht kann überhaupt nicht gedacht werden, ehe eine tiefere Einsicht in die Mechanik des Zellenwachsthums gewonnen ist. Ob dann eine Erklärung gelingen wird, das lässt sich freilich nicht voraussagen, unmöglich ist es aber keineswegs, dass irgend welche nachweisbare, durch Licht oder Temperaturwechsel in den Zellen hervorgerufene Veränderungen die Motoren des beschleunigten Wachsthums sind.

Bei dem beschleunigten Wachsthum eines der antagonistischen Gewebecomplexe werden wohl sicherlich, wenn auch wohl grösstentheils vorübergehende Aenderungen der Gewebespannung hervorgerufen werden, da es z. B. nicht anzunehmen ist, dass die negativ gespannte Epidermis mit ihren verdickten und bis zu einem gewissen Grade elastischen Zellwänden sogleich in entsprechender Weise mitwächst. Dann wird aber eine Zunahme der Gewebespannung bei jedem beschleunigten Wachsthum, also sowohl durch Steigerung, als Abnahme von Temperatur und Helligkeit zu Stande kommen, die Gewebespannung folglich durch entgegengesetzte äussere Einflüsse eine gleichsinnige Aenderung erfahren können[2]). Auf diese Andeutungen kann ich mich beschränken, da die Gewebespannung nicht bedingende Ursache des Oeffnens und Schliessens der Blüthen, sondern eine erst durch die als Motoren thätige Wachsthumsvorgänge hervorgerufene Erscheinung ist.

---

1) Lehrbuch III. Aufl. p. 748.

2) Vgl. Sachs, Lehrbuch III. Aufl. p. 717.

Die wesentlichsten Ergebnisse unserer Untersuchungen sind folgende:

Die Blüthenbewegungen werden durch Beleuchtungs- und Temperaturschwankungen veranlasst, indem je eines der beiden antagonistischen Gewebe zu beschleunigtem Wachsthum angeregt wird.

Die Beschleunigung des Wachsthums wird in dem einen antagonistischen Gewebe durch Zunahme, in dem anderen umgekehrt durch Abnahme von Licht und Wärme hervorgerufen. Es liegen hier also Zellen vor, welche sich bezüglich des Wachsthums gegen die genannten Imponderabilien gerade entgegengesetzt verhalten.

Manche Blüthen sind wiederholt und zu jeder Zeit zu Oeffnungs- und Schliessungsbewegungen zu bringen, andere vermögen erst nach einer gewissen Ruheperiode die nächste ausgiebige Bewegung auszuführen.

Die Bewegungen der einen Blüthen werden vorwiegend durch Temperaturschwankungen, die anderer Blüthen dominirend durch Beleuchtungswechsel bestimmt.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

Fig. 7.

Fig. 4.

Fig. 1

r'
m
m
r
l

Fig. 6

Fig. 2.

x'
m
m
X,
ρ
w

Fig. 5.

Fig. 3

e'
γ'
r''
r'
r
e
r,
r
γ,



